UNIVERSITÉ SULTAN MOULAY SLIMANE
BENI MELLAL

FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES
BENI MELLAL

THÈSE

Présentée à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal
Pour l'obtention du Diplôme de

DOCTORAT ES-SCIENCES

Spécialité: Biologie

Options : Environnement et aquaculture

ELABORATION D'ALIMENTS EXTRUDES ECOLOGIQUES ET PERFORMANTS POUR L'ELEVAGE DE LA TRUITE ARC-EN-CIEL (ONCORHYNCHUS MYKISS. WALBAUM, 1792) AU NIVEAU DE LA STATION PISCICOLE AIN AGHBAL (AZROU, MAROC).

Par

Mlle Khadija OUAISSA

Soutenue le 30 Novembre 2019 à 10h devant le jury composée de :

Président	: Pr. Khalid HABBARI	FST – Béni-Mellal
Rapporteurs	: Pr. Mohammed FEKHAOUI	Institut Scientifique - Rabat
	: Pr. Hicham CHAIRI	FP – Larache
	: Pr. Abdelali BOULLI	FST – Béni-Mellal
Examinateur	: Pr. Nadia BERDAY	IAV HII- Rabat
Invité	: Mr. Abdelaziz MAYCHAL	Domaines Ain Aghbal -Azrou
Directeur de thèse	: Pr. Mustapha HASNAOUI	FST – Béni-Mellal

AVANT PROPOS

Nom et Prénom de l'auteur : **Mlle Khadija OUAISSA**

Intitulé du sujet de recherche :

ÉLABORATION D'ALIMENTS EXTRUDÉS ÉCOLOGIQUES ET PERFORMANTS POUR L'ELEVAGE DE LA TRUITE ARC-EN-CIEL (ONCORHYNCUS MYKISS. WALBAUM, 1792) AU NIVEAU DE LA STATION PISCICOLE AIN AGHBAL. AZROU-MAROC.

Nom et Prénom du directeur de recherche interne:

Mustapha HASNAOUI, Professeur de l'Enseignement Supérieur, Département de Biologie, Équipe Génie de l'Environnement. FST Béni-Mellal, Maroc.

Nom et Prénom du directeur de recherche externe

Abdelaziz MAYCHAL, Chef de la Station de Pisciculture Ain Aghbal -Azrou. Maroc.

Date de commencement de ce travail : 2015

Les résultats de ce travail ont donné lieu aux publications et communications suivantes :

Publications scientifiques

1. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2019.**

Evaluation of the three diets of different biochemical compositions on the zootechnical performances of the rainbow trout (Onchorynchus Mykiss walbaum, 1792) and their impact on the water of the Oum Er-Rbia River (Morocco). International Journal of Advanced Engineering, Management and Science (IJAEMS), volume 5.

https://dx.doi.org/10.22161/ijaems.5.4.7.

2. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2018.**

Assessment of the effects rejections of feed fish on water resources (Ouedoumerrbia, Morocco). E3S Web of Conferences, Volume 37.

https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183701003.

3. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2018.**

Elaboration of two ecological foods of rainbow trout (onchorynchus mykiss walbaum, 1792) by extrusion system. Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development, ID 25. Advanced intelligent systems for sustainable development applied to environment, 96. 978-9854 [96]-28-3@2018-Springer.

4. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2018.**

Extrusion technology of extruded feed of rainbow trout(Onchorynchus mykiss walbaum, 1792). International Symposium for Environmental Science and Engineering Research (ISESER). Abstract Book of ISESER 2018. Konya, Turkey, May 11- 12, 2018.

5. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2018.**

Elaboration of an efficient and ecological Moroccan food formulation of rainbow trout. J. Mar. Biol. Oceanogr. 2018, Volume: 7. https://doi.org/10.4172/2324-8661-C1-011.

6. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2017.**

Comparison of three different biochemical composition foods in the rainbow trout (*Oncorhynchusmykiss*) and their effect in the physical and chemical quality of water of the magnifcation station. J. Aqua. Res. Development 2017, 8:2 (Suppl) http://dx.doi.org/10.4172/2155-9546.C1.015.

7. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2017.**

Comparison of Three Different Biochemical Compositions of Foods in the Rainbow Trout (Onchorynchus mykiss) and Their Effect on Oum Er-Rbia River Water Quality (Morocco).Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration EMCEI 2017. Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions, 767-769.https://doi.org/10.1007/978-3-319-70548-4_225.

8. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2017.**

Effets d'un aliment extrudé sur les performances de croissance de la truite arc-en-ciel et sur la qualité de l'eau de l'Oued Oum Er-Rbia (Station Ain Aghbal, Azrou-Maroc). J. Wat. Env. Sci. Vol. 1, (2017), 132-139.

9. **A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2018.**

Solation of a Gram Negative Fish Pathogenfrom Moroccan Rainbow Trout Hatcheryin Winter and its Classical Characterization. International Journal of Advanced Engineering, Management and Science (IJAEMS), vol 5, no. 1, 2019, pp.57-62 Infogain Publication, doi:10.22161/ijaems.5.1.8.

10. **A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2018.**

Bacterial inspection of flavobacterium genus in brook trout (Salvelinus fontinalis) with skin lesions in Morocco. ID 26. Advanced intelligent systems for sustainable development applied to environment, 97, 978-9854 [97]-28-3@2018-Springer.

11. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2018.

Biocontrol against Flavobacterium psychrophilum bacteria in salmonid hatcheries (Ain GHBAL farm, Azrou-Morocco). J. Mar. Biol. Oceanogr. 2018, Volume: 7. https://doi.org/10.4172/2324-8661-C1-011

12. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1]2017.

Biochemical and Enzymatic Characterization of a Gram-negative Fish Pathogen Isolated in Morocco from Rainbow Trout and Comparison with Isolates of Other Countries and Sources.Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration EMCEI 2017. Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions.

13. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2017.

Characterization of pathogenic bacteria isolated from rainbow trout (oncorhynchus mykiss walbaum, 1792) fries in a hatchery in azrou city (Morocco) : phenotypic and biochemical studies. J. Wat. Env. Sci. Vol. 1, (2017), 140-142.

14. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2017.

Biochemical and enzymatic characterization of a Gram-negative fish pathogen isolated in Morocco from Rainbow trout. Journal Aquatic Res Development 2017, 8 : 2 (Suppl).

http://dx.doi.org/10.4172/2155-9546.C1.015.

Communications nationales et internationales

1. K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2019.

Ecological and optimised nutrition for rainbow trout (Oncorhynchus mykiss walbaum, 1792). 6th International symposium on Environment and Sustainable Development (ISESD -19). 2– 4 October 2019. Rabat – Maroc.

2. K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2018.

Élaboration of two ecological foods of rainbow trout (Onchorynchus mykiss walbaum, 1792)by extrusion system. International conference Advanced Technologies and Intelligent Systems for Sustainable Development AI2SD'2018. 11-14 juillet 2018. Tanger - Maroc.

3. K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2018.

Élaboration of an efficient and ecological Moroccan feed formulation of rainbow trout. International Conference on Aquaculture & Marine Biology in Rome, 25-27 juin 2018. Rome -Italie.

4. K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2018

Extrusion technology of extrude feed of rainbow trout (*Onchorynchys mykiss* Walbaum, 1792). International Symposium for Environmental Science and Engineering Research (ISESER), May 11-12, 2018. Konya, Turkey.

5. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2017.**

Effect of three extruded food on zootechnical performances of rainbow trout (oncorhynchus mykiss) and their impact on the river oum er rbia. 6ème Édition du Congrès International "Eaux,DéchetsetEnvironnementEDE6". 12, 13 et 14 Décembre2017 à la FST de Béni Mellal-Maroc.

6. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2017.**

Comparison of Three Different Biochemical Compositions of Foods in the Rainbow Trout (Onchorynchys mykiss) and Their Effect on Oum Er-Rbia River Water Quality (Morocco).Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration EMCEI 2017. 1stEuro Mediterranean Conference for Environmental Integration. 22-25 Novembre 2017, Sousse. Tunisie.

7. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2017.**

Comparaison of three foods with different biochimical compositions in Rainbow trout(Onchorynkiss Mykiss) based on zootechnicals performances and releases piscicoles (Fishfarming of Oum Er-Rbia. Morocco). 2ndAMSR International congress. Ambition ofsustainability in the context of territoral complexity and the society of risks. 11-12 Octobre2017. Rabat -Maroc.

8. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2016.**

Effets de trois types d'aliments de différentes compositions biochimiques sur les performances de croissance de la truite arc-en-ciel(*Onchronchus mykiss*). Quels impacts sur l'environnement?. 5éméconloque international "environnement et développement durable" 10-15 octobre 2016. FS Rabat-Maroc.

7. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2016.** Effect of three types of food on the growth performance of Rainbow trout (Oncorhynchus Mykiss) and their effects on the environment (Fish farm. Ain Aghbal-Azrou).Climate change adaptation through valorisation of water resources in arid and semi –arid areas. Side event en zone verte de la COP22. 8 Novembre 2016, Marrekch-Maroc.

8. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2016.** Effect of three different biochimical compositions of foods in the Rainbow trout (*Oncoronchus Mykiss*) on the growth perfomance and fish releases. Les changements climatiques : Quelles stratégies pour une developpement durable? 2-3 Novembre 2016 Fac. Sci. Fés-Maroc.

9. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2016.** Études des performances de croissance de la truite arc-en-ciel nourrie par trois types d'aliment de différente composition. 1ère Edition des journées scientifiques des doctorants de la FSTG, 22 Avril 2016. Marrekch -Maroc.

10. **K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2015.** Rejets de la station de grossissement de la truite arc-en-ciel (station Oum Er Rbia, Maroc) : Caractérisation et modélisation. 2éme journée doctoriale de la FST Béni Mellal, 26 -28 Mars 2015. Béni Mellal-Maroc.

11. K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2015. Comparaison de trois types d'aliments sur les performances de croissance, la qualité du produit fini de la truite arc-en-ciel et leur effet sur la rivière Oum Er-Rbia (Station de grossissement d'Oum Er-Rbia). 24-26 Novembre 2015, Settat- Maroc.

12. K. Ouaissa[1], A. Kritihi[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2015.
Effet de trois aliments sur les performances ,qualité du produits fini de la truite arc-en-cielet leurs impacts sur l'environnement (Station de grossissement d'Oum Er rbia). 1er Congrès International polydisciplinaire «Les enjeux stratégiques du developpement durable intégré en Afrique». 5-6 Juin 2015, Béni Mellal. Maroc.

13. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2019.
Valorisation des milieux aquatiques par la pisciculture cas de la station de la pisciculture Ain Aghbal Azrou – Maroc. 1ère Journée Scientifique : Environnement et Climat 14 Juin 2019. EST Béni Mellal. Maroc.

14. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2018.
Bacterial inspection of flavobacterium genus in brook trout (Salvelinus fontinalis) with skin lesions in Morocco. International conference Advanced Technologies and Intelligent Systems for Sustainable Development AI2SD'2018. 11-14 juillet 2018. Tanger - Maroc.

15. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], M. Barakate[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2018.
Biocontrol against Flavobacterium psychrophilum bacteria in salmonid hatcheries (Ain GHBAL farm, Azrou-Morocco). International Conference on Aquaculture & Marine Biology in Rome, 25-27 juin 2018. Rome -Italie.

16. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], M. Barakate[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2017.
Biochemical and Enzymatic Characterization of a Gram-negative Fish Pathogen Isolated in Morocco from Rainbow Trout and Comparison with Isolates of Other Countries and Sources. Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration EMCEI 2017. 1stEuro-Mediterranean Conference for Environmental Integration. 22-25 Novembre 2017, Sousse. Tunisie.

17. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], M. Barakate[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2017.
Sustainable development of intensivly-aquaculture in the context of animal and environmental well-being. 2ndCongrès International de AMSAR : «Ambition of sustainability in the context of territorial complexity and the society of risks». 11 - 12 Octobre 2017. INAU, Rabat. Maroc.

18. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], M. Barakate[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2017.
Développement durable de l'aquaculture dans le cadre d'un bien-être animal et environnemental. 6èmeEdition du Congrès International «Eaux, Déchets et Environnement» EDE6. 12 - 14 Décembre 2017. Faculté des Sciences et Techniques Béni Mellal. Maroc.

19. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], M. Barakate[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2016.

Flavobacteriumpsychrophilum screening with actinobacteria Producer of bioactive substances. 3rd International Conference « MicrobialBiotechnology for Development » MICROBIOD 3, 24-26 Octobre 2016. Faculté des Sciences et Techniques Mohammedia, Maroc.

20. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], M. Barakate[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2016.

Biochemical and enzymatic characterization of a Gram-negative fish pathogen isolated in Morocco from Rainbow trout and comparison with isolated of other countries and sources. Colloque international : Les changements climatiques : Quelles stratégies pour un développement durable? 2-3 Novembre 2016. FS. Dhar El Mahraz- Fès. Maroc.

21. A. Kritihi[1], K. Ouaissa[1], Y.Oumessoud[2], M. Barakate[2], A. Maychal[2], M. Hasnaoui[1] 2016.

Characterisation of a pathogenic bacteria isolated from rainbow trout fries in a hatchery in Azrou-Morocco: phenotypic & biochemical studies. Side event tenuen zone vertelors de la COP22 sur “Climate change adaptation through valorisation of water resources in arid and semi-arid areas”. 8 Novembre 2016. Marrakech. Maroc.

DÉDICACES

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents qui m'ont toujours apporté amour, sacrifices, encouragements et réconfort. Rien au monde ne pourrait compenser tous les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma réussite afin que je puisse terminer et réaliser mes objectifs. Aucune dédicace ne saurait exprimer ma reconnaissance, mon grand attachement et mon profond amour. Que ce travail soit pour vous le fruit de tous vos efforts et vos nobles sacrifices.

A mes très chers sœurs et frères pour leurs soutiens et encouragements. Vos affections et vos encouragements ont toujours été pour moi des plus précieux. Que ce travail soit pour vous le gage de mon profond amour. Je prie Dieu de vous procurer santé, bonheur et longue vie afin que vous puissiez exhausser tous vos rêves.

A ceux qui se dévouent sans cesse pour m'éclaircir la voie et les immenses horizons du savoir et dont la vocation mérite largement mon respect.

A tous ceux qui ont contribué de près ou du loin à l'élaboration de ce travail, qu'ils trouvent ici ma sincère gratitude et reconnaissance.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

A tous ceux et celles que j'aime

REMERCIEMENTS

Ce travail est le fruit d'une collaboration scientifique entre les Domaines Agricoles au Maroc, représentée par la Station de Pisciculture d'Ain Aghbal, Azrou et la Faculté des Sciences et Techniques de Béni-Mellal.

Mes remerciements vont aux Domaines Agricoles qui m'ont donné l'opportunité de réaliser cette thèse de Doctorat au sein de la Station de Pisciculture d'Ain Aghbal à Azrou.

Mes remerciements vont également au ***Pr. Said MELIANI****, Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal. Qu'il trouve ici l'expression de ma haute considération.*

Jeremercie le ***Pr. Abderrafia*** **HAFID***, Vice doyen de la recherche scientifique à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, pour ses précieux conseils. Qu'il trouve ici toute mon émotion et mes marques de reconnaissance.*

J'exprime aussi ma profonde gratitude au ***Pr. Mustapha HASNAOUI****, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, qui a dirigé ce travail. Je le remercie vivement pour m'avoir entraînée avec enthousiasme et dynamisme dans ses idées florissantes et pour avoir encouragé les miennes, pour sa haute compétence scientifique dont il m'a fait profiter. Sa rigueur et son exigence, ses remarques et conseils avisés, sa disponibilité, sa confiance, son ouverture aux discussions argumentées étaient toujours au profit du bon déroulement et de l'avancement de mon travail au cours de ces cinq années. Je lui dois mon profond respect et ma sincère gratitude.*

Je tiens à remercier très chaleureusement ***Mr. Abdelaziz MAYCHAL****, chef de la Station de Pisciculture d'Ain Aghbal, pour m'avoir ouvert les portes de la station. Il m'a fait profiter de sa grande expérience dans le domaine de la pisciculture. Il n'a jamais hésité à me consacrer une partie de son temps pour discuter mon travail. Ses qualités humaines sont pour moi un exemple.*

Je remercie le ***Pr. Khalid HABBARI****, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, pour ses précieux conseils, je voudrais qu'il trouve ici toute mon émotion et mes marques de reconnaissance et de remerciements. Je le remercie d'avoir accepté de présider le jury de ma thèse.*
Je tiens à remercier sincèrement ***Pr. Mohammed FAKHAOUI****, Professeur à l'univesité Mohamed V de Rabat. d'avoir accepté d'être rapporteur de cette thèse et de siéger au jury de thèse.*
Je remercie vivement ***Pr. Hicham CHAIRI****, Professeur à la Faculté Polydisciplinaire de* Larache*, qu'il trouve ici le témoignage de ma haute considération. Je le remercie aussi d'avoir accepté d'être rapporteur de cette thèse et membre de jury.*
Pr. Abdelali BOULLI, *Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, a accepté d'être rapporteur, d'évaluer mon travail de recherche et me faire part de ses critiques en siégeant parmi les membres de mon jury de thèse.*

*Je tiens à remercier sincèrement **Mme. Nadia BERDAY**, Professeur à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II de Rabat d'avoir accepté d'être examinateur de cette thèse et de siéger au jury de thèse.*

*J'exprime ma haute gratitude à **Mr. Mohammed SADIK**, chef du Centre National d'Hydrobiologie et de Pisciculture (CNHP) d'Azrou pour son soutien technique.*

*Je tiens à remercier très chaleureusement **Mr. Mohammed DROUSSI** qui m'a fait profiter de sa grande expérience dans le domaine de la pisciculture. Je lui adresse un grand merci pour sa qualité humaine et sa compétence scientifique.*

*Un grand hommage posthume au feu le **Pr. Mohammed Naimi** qui m'a initié et aidé dans la réalisation de la modélisation mathématique.*

*Je tiens à remercier **Mr. Hamid Dama**, Responsable de la societé de la production de l'aliment de poisson''Haxagone'' pour m'avoir ouvert les portes de son usine et m'a facilité la réalisation des essais de fabrication des aliments élaborés lors de ce travail.*

*Je remercie vivement le **Pr. Hassan Nhhala,** pour son aide à l'analyse des données, sa disponibilité et ses précieux conseils.*

*Je remercie vivement mon collègue le **Dr. Anouar Ouizgane** pour sa disponibilité et son aide continue.*

*Mes sincères remerciements vont au **Pr. Zehor AIT YASSINE**, membre de l'Equipe Génie de l'Environnement.*

Je ne saurais oublier de remercier tous les membres des Stations de Pisciculture d'Ain Aghbal et d'Oum Er Rbia, pour m'avoir apporté leur soutien et leur aide durant toute la période de travail.

*Mes remerciements les plus vifs sont adressés à tous les Doctorants de l'Équipe Génie de l'Environnement, en particulier **Mlle A.KRITHI, Mme F. MAJDOUBI, Mlle S. ELGHIZI, Mme S.FARID** et **Mlle M. BOUSSEBA** qui ont pu créer une ambiance gaie et sympathique et des conditions agréables de travail au sein de notre laboratoire.*

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de cette étude.

ملخـــــــص

عرف استزراع الأحياء المائية نموا متسارعا في السنوات الأخيرة مما أدى الى تطوير ممارسات جديدة, وبلورة أسئلة مستجدة من أجل الاستغلال المستدام لهذا القطاع. و تتمثل إحدى التحديات الأساسية في القدرة على إستبدال الأطعمة الغنية بالمواد الأولية البحرية بأطعمة غنية بمواد نباتية لدى الأسماك اللاحمة.

وفي سياق التحكم المستدام لمرحلة الإنتاج (تربية وتحويل) ، أصبح لزام تحسين التغذية والحفاظ على جودةالمنتوج قصد الاستجابة لمتطلبات الزبناء. فجودة لحوم الأسماك يمكن أن تقاس بمجموعة من ألمعايير (القيمة الغذائية ، الجودة الصحية ، الطراوة والخصائص الفيزيائية والذوقية) البيئية والغذائية أيضا.وفيما يخص الجودة الغذائية والذوقية للحوم الأسماك فإن التغذية تلعب دورا رئيسيا في قطاع استزراع الأحياء المائية القارية.

الهدف من هذه الدراسة هو اختبار الأعلاف المستعملة من طرف شركة ملك عين أغبال و إختيار الغذاء الفعال على مستوى مختلف مراحل مسار التربية وعلى مستوى البيئة التروثة القزحية ,وذلك من أجل تطويرعلفخاص يستجيب لمتطلبات صنف التروثة القزحيةومطابق للمعايير البيئة.

الشطر الأول من هذا البحث ينبني على تقييم تأثير ثلاثة أنواع من الأغذية (أ,ب,ج) ذات تركيبات بيوكيميائية مختلفة على مؤشرتربية التروثة القزحية وجودة المنتوج النهائي (الأحماض الدهنية والخاصة اللونية),وأيضا تأثيراتها على البيئة. منأجل مقارنة تأثيرات الأعلاف الثلاثة على مختلف الجوانب المذكورة،تم الشروع في اختبار تجريبي بمزرعة شركة ملك عين أغبال لتربية و تسمين الأسماك قرب منابع أم الربيع على بعد 70 كيلومترا من مدينة أزرو (المغرب). وبعد مراقبة دامت 222 يوما لنموالتروثة القزحية بالأعلاف الثلاثة (أ,ب,ج) تبين أن التروثة القزحية المغذاة بالعلف 'ب' عرفت نموا مهما مع مؤشر تحول جيد (0.91) مقارنة بالتروثة القزحية المغذاة بالصنفين 'أ' و 'ج'.و يعتبرالعلف' ب' ايضا الأقل طرحا للعناصر الفوسفورية و الأزوتية مقارنة بالعلفين 'أ' و ج'.

إنطلاقا من هذه التجربة تبينأن العلف 'ب', حقق أداءا أفضل سواء فيما يخص النمو و تقليص الملوثات السمكية وأيضا على مستوى الخصائص اللونيةللتروثة القزحية والجودة البيوكيميائية للحمها (أوميغا3 وأوميغا 6)

بناءا على النتائج المحققة إعتبرنا الغذاء 'ب'مرجعا لتطوير صيغة مثالية وإيكولجية مطابقة لشروط تربية التروثة القزحية.

و على ضوء نتائج هذه الدراسة قمنا بتطويرعلفين: العلف فـ1 (60% من البروتينات البحرية و40% من البروتينات النباتية), العلف ف 2 (40% من البروتينات البحرية و60% من البروتينات النباتية) يستجيبان لمتطلبات التروثة القزحية و لمعايير التنمية المستدامة و بأقل تكلفة.

. وعليه، فالأسماك الخاضعة للنظامين فـ1 و فـ2 حققت نتائج باهرة مع انخفاض التحولات الغذائية (تواليا 0.82 و 0.73) مقارنة بالغذاء المعني في التجربة الاولى (ب) بالإضافة الى ذلك فهذه الأنظمة الغذائية أدى إلى إنخفاض ملموس في محتوى النفايات السائلة التي تم استخلاصها من خلال هذه التجربة .

وقد أظهرت النتائج أن التروثة القزحية التي تمت تغذيتها بالعلف المطور كشف عن أداء نموأفضل مع وزن نهائي يبلغ 1080 غرام خلال فترة زمنية قصيرة لا تتجاوز43 يوما (11.25 غرام في اليوم) مع الحفاض على البيئة حيث أن نسبة الفوسفور و الأزوت المطروحة شبه منعدمة.

الكلمات المفاتيح:*التروثةالقزحية,علف, نضام , التركيبة البيوكيميائية, البيئية, النفايات, الفوسفور, الأزوت, عين أغبال, أم الربيع, أزرو, المغرب.*

RESUME

Ces dernières décennies, la croissance exponentielle de l'aquaculture a conduit à un développement de nouvelles pratiques et de nouveaux questionnements afin de rendre l'exploitation de la filière de l'aquaculture durable. L'un des premiers challenges est de réussir à substituer des aliments riches en matières premières marines par des aliments riches en matières premières végétales.

Ainsi, l'objectif de la présente étude est-il de tester les aliments utilisés pour le grossissement de la truite arc-en-ciel en choisissant l'aliment performant de point de vue zootechnique et environnemental afin de fabriquer un aliment avec des matières premières nationales, lequel en tant que tel doit répondre aux exigences de la truite arc-en-ciel ainsi qu'aux normes de rejets liquides.

La première partie du présent travail a été consacrée à l'évaluation de l'effet de trois aliments (A, B et C) de différentes compositions biochimiques sur les performances zootechniques de la truite arc-en-ciel; sur la qualité de produit fini (acides gras et saumonisation) ainsi que sur l'environnement en prenant en considération les rejets piscicoles.

L'essai expérimental, qui a duré 222 jours, a été réalisé au niveau des bassins de la ferme piscicole de grossissement de la TAC près des sources Oum Er-Rbia situés à environ 70 km de la ville d'Azrou (Maroc), relevant des domaines agricoles d'Ain Aghbal. La qualité des eaux des sources d'Oum Er-Rbia offre à la truite un milieu favorable pour une croissance optimale.

La croissance et les performances zootechniques de la truite arc-en-ciel nourrie avec les trois aliments (A, B et C) a montré que l'alimentation de la truite par l'aliment B a donné une croissance très importante avec un faible indice de conversion (B=1043g / IC_b= 0,90) par rapport à celle trouvée avec les aliments A et C. En terme de rejets piscicoles, l'effluent des bassins d'élevage de la truite nourrie par l'aliment B contient des teneurs en phosphore, azote et MES très faibles.Aussi, l'aliment B a-t-il présenté les meilleures performances dans la saumonisation et la qualité biochimique de la chair (Oméga 3 et Oméga 6). Donc, il ressort de cet essai que l'aliment B a été considéré comme l'aliment de référence afin d'élaborer une formulation adéquate et écologique adaptée aux conditions d'élevage de la truite arc-en-ciel au Maroc. Les deux formules élaboréesF1 (60% de produit animal et 40 % de produit végétal) et F2 (40 % produit animal et 60 % produit végétal) ont permis une meilleure performance zootechnique de la truite arc-en-ciel avec un poids final de 1080g pendant une courte durée de 43 jours surtout pour la formulation F2 qui a donné une croissance journalière(11, 25 g/j). Les taux de conversion alimentaire obtenus sont de 0,82 pour F1 et 0,73 pour F2 comparativement à ceux de l'aliment B (aliment de référence) qui est de 0,90. En plus, ces deux formulations n'ont pas d'effet nuisible sur l'environnement puisque les teneurs en phosphore, azote et MES rejetées dans l'eau de l'Oued Oum Er-Rbia sont négligeables.

***Mots clés** : Truite Arc en ciel, aliment, formulation, performance zootechnique, environnement, rejets, impact, domaines agricoles Ain Aghbal, Oum Er-Rbia, Azrou.*

ABSTRACT

There have been an exponential growths of aquaculture during the last two decades. This has led to the development of new practices and new ways in order to assure that the exploitation of the sector is sustainable. One of the first challenges facing aquaculture development is to succeed in substituting the fish meal as the main component of feed with a vegetable ingredient.

Regarding this challenge, the main goal ofthis study was to test the feedsusually used in the rearing of rainbow trout and then choose the high-performance feed from a zootechnical and environmental point of view and later on come up with an adequate feed made up with national ingredients. This feed must meet the biological requirements of rainbow trout and obey to liquid discharge standards.
The first part of this work was devoted to the assessment of the effect of three categories of feed (A, B and C) whose differences are based on biochemical compositions; zootechnical performances and on the quality of finished product (fatty acids and salmonisation) as well as the effect of the effluents discharges on the environment.

The experimental test, which was carried out during 222 days, in the concrete tanks of Ain Aghbal fish farm located near OumEr-Rbia springs situated about 70 km from the city of Azrou (Morocco). The water quality of Oum Er-Rbia riveroffers trout a suitable and friendly environment for optimal growth.
The growth and zootechnical performance of rainbow trout fed on all three feeds (A, B and C) showed that feeding trout with feed B resulted in very high growth with a feed conversion rate (B = 1043g / ICb = 0.90) compared to that found using feed A and C. In terms of fish wastes, the effluent from the rearing tanks for trout fed with B feed yielded very low levels of phosphorus, nitrogen and suspended solids. So, did B feed yield the best performances in terms of biochemical quality of the flesh (Omega 3 and Omega 6). Therefore, feed B was found to be the best feed and it would chosen to develop an efficient and ecological formulation adapted to the rainbow trout rearing in Morocco.

The two formulas proposed F1 (60% animal protein and 40% vegetable protein) and F2 (40% animal product and 60% vegetable product) allowed a better zootechnical performance of the rainbow trout with a final weight of 1080g during a short rearing period of 43 days (11, 76 g / day). The low feed conversion ratios obtained were 0.82 for F1 and 0.73 for F2 compared to those of food B (reference feed) (0.90). In addition, these two formulations helped coming up with a friendly environmentally feed since the levels of phosphorus, nitrogen and suspended solids released into the water of OumEr-Rbia river wereextremely low.

***Key words**: Rainbow trout, food, formulation, biochemical composition, zootechnical performance, environment, releases, impact, phosphorus, nitrogen, AinAghbal agricultural domain, OumEr-Rbia, Azrou, Morocco.*

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Production aquacole mondiale (FAO,2012). 6
Figure 2 : Production aquacole des principales espèces ou des principaux groupes d'espèces d'eau douce en 2010 (FAO, 2012). 6
Figure 3 : Description de la truite arc-en-ciel (Oncorhynchus mykiss. Walbaum, 1792). 9
Figure 4 : Cycle d'élevage de la truite arc-en-ciel. 10
Figure 5 : Croissance de la truite arc-en-cieldans les exploitations de l'Idaho. 11
Figure 6 : Schéma du tractus digestif de la truite arc-en-ciel(Olssen, 2011). 13
Figure 7 : Relation entre la température et la saturation maximale d'oxygène dissous dans l'eau 15
Figure 8 : Limites de tolérance des truites au pH de l'eau. 16
Figure 9 : Bilan de l'azote chez la truite arc-en-ciel. 17
Figure 10 : Bilan du phosphore chez la truite arc-en-ciel (Ouellet, 1999). 20
Figure 11 : Production mondiale de l'aquaculture (tonnes) FAO (2012). 23
Figure 12 : Production française (en tonnes) par espèces (hors plantes et mollusques) en 2010 (FAO, 2012). 23
Figure 13 : Modèle d'utilisation de différentes sources énergétiques alimentaires par le poisson (Cho et Kaushik, 1985) 33
Figure 14 : Forme de l'aliment de la truite arc en ciel 39
Figure 15 : Provenance du phosphore dans une diète typique 39
Figure 16 : Paramètres à respecter dans le pré-conditionnement 48
Figure 17 : Représentation schématique d'une extrudeuse comprenant ses parties principales et ses zones. ... 49
Figure 18 : Forme de deux vis de l'extrudeuse. 49
Figure 19 : Matrice et différents éléments des systèmes de coupes 51
Figure 20 : Station de la pisciculture de Domaine Oum Er Rbiaa à Azrou - Maroc. 56
Figure 21 : Schéma d'alimentation des bassins d'essais par les eaux des sources d'Oum Er-Rbia. 57
Figure 22 : Emplacement des points de prélèvements. 60
Figure 23 : Variation des paramétres physiques (Température, Oxygéne dissous, pH et conductivité électrique) de l'eau d'alimentataion des bassins d'essai. 65
Figure 24 : Variation des concentrations de l'azote ammoniacal, des nitries, des nitrates , des orthophosphates, de la demande chimique en oxygène et des matières en suspension le long de la période d'essai. 67
Figure 25 : Concentrations maximales des rejets de la truite arc-en-ciel. 73
Figure 26 : Évolution de la concentration de NH_4^+ dans l'eau de sortie des bassins d'élevage 74
Figure 27 : Évolution de la concentration de NO^-_2 dans l'eau de sortie des bassins d'élevage 74
Figure 28 : Évolution de la concentration de NO_3^- dans l'eau de sortie des bassins d'élevage 75
Figure 29 : Évolution de la concentration des orthophosphates dans l'eau de sortie des bassins d'élevage. ... 76
Figure 30 : Évolution de la concentration des Matières en suspension dans l'eau de sortie 76
Figure 31 : Évolution de la demande chimique en oxygéne au niveau de l'eau de sortie 77
Figure 32 : Échelle hédonique à 9 points (AFNOR, 2000). 97
Figure 33 : Croissance de la truite arc-en-cielnourrie par les aliments A, B et C. 106
Figure 34 : Variation de l'indice de conversion pour l'aliment A 108
Figure 35 : Variation de l'indice de conversion pour l'aliment B 109
Figure 36 : Variation de l'indice de conversion pour l'aliment C 109
Figure 37 : Relation entre le poids et la taille des poissons nourris par l'aliment A 111
Figure 38 : Relation entre le poids et la taille des poissons nourris par l'aliment B 111
Figure 39 : Relation entre le poids et la taille des poissons nourris par l'aliment C 111
Figure 40 : Compositions des deux formulations proposées 127
Figure 41 : Croissance de la truite arc-en-cielen fonction des formulations élaborées et l'aliment comparé. 147
Figure 42 : Variation de l'indice de conversion pour aliment B. 148
Figure 43 : Variation de l'indice de conversion pour la formule F1. 149
Figure 44 : Variation de l'indice de conversion pour la formule F2. 149
Figure 45 : Évolution de la concentration en azote ammoniacaldes rejets des bassins avec les aliments B, F1 et F2 158
Figure 46 : Évolution de la concentration de NO_2^- et NO_3^-des rejets des bassins avec les aliments B, F1 et F2. 159
Figure 47 : Évolution de la concentration des rejets phosphatés des rejets des bassins avec les aliments B, F1 et F2. 160
Figure 48 : Évolution des matières en suspension des rejets des bassins avec les aliments B, F1 et F2. 161
Figure 49 : Évolution de la concentration de DCO des rejets des bassins avec les aliments B, F1 et F2. 161

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Récapitulatif des activités des entreprises aquacoles marocaines en 2015.....5
Tableau 2 : Températures optimales pour la croissance de certains salmonidés.....14
Tableau 3 :Critére de qualité de l'eau pour l'élevage des salmonidés (Barnabé et al., 1991) 21
Tableau 4 : Aliment naturel de différentes espèces de poisson.....26
Tableau 5 : Taille de l'aliment selon le poids des poissons.....27
Tableau 6 : Quantité (% de la ration) de protéines recommandées dans l'aliment de différentes espèces de poisson d'élevage en fonction de leur poids 28
Tableau 7 : Besoin en acides aminés essentiels (% matière azotée totale) de différentes espèces de poissons d'élevage.....29
Tableau 8 : Propriétés des matières premières d'origine végétale utilisées en salmoniculture (Bernard, 2010). 42
Tableau 9 : Principaux facteurs antinutritionnels présents dans les produits végétaux utilisés dans l'alimentation piscicole et leurs effets délétères (Médale et al., 2013) 44
Tableau 10 : Points de prélèvements des eaux à analyser.....59
Tableau 11 : Méthodes physico-chimiques des eaux 61
Tableau 12 : Paramètres physiques des eaux des bassins.....63
Tableau 13 : Paramètres physiques des eaux des bassins.....65
Tableau 14 : Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques de l'eau d'alimentataion des bassins.....67
Tableau 15 : Heures de prélèvement des eaux à analyser.....71
Tableau 16 : Pourcentage de taux de protéines dans les trois aliments testés 72
Tableau 17 : Pourcentage des taux des phosphores dans les trois aliments 74
Tableau 18 : Suivi des rejets des trois aliments dans les différents points de prélèvement dans l'Oued Oum Er Rbia durant la période d'essai (Moyenne de la période Juin 2015-Février 2016)......77
Tableau 19 : Densité et nombre des truitelles dans chaque bassin d'essai 84
Tableau 20 : Composition biochimique des trois aliments testés (A, B et C)).....85
Tableau 21 : Transformation des trois aliments extrudés (A, B et C) en iso-énergie.....86
Tableau 22 : Questionnaire des paramètres sensoriels......96
Tableau 23 : Paramètres morphométriques étudiés pour les trois échantillons A, B et C 97
Tableau 24 : Pourcentage de la composition biochimique des régimes expérimentaux selon les trois fournisseurs 97
Tableau 25 : Analyses biochimiques des trois aliments (A,B et C) selon la composition déclarée dans la fiche technique des fournisseurs et les analyses effectuées au laboratoire 99
Tableau 26 : Performances zootechniques étudiées chez les truites nourris par l'aliment A pendant 222 jours 100
Tableau 27 : Performances zootechniques étudiées chez les truites nourries par l'aliment B pendant 222 jours. 101
Tableau 28 : Performances zootechniques étudiées chez les truites nourries par l'aliment C pendant 222 jours 102
Tableau 29 : Performances de croissance de la truites arc-en-ciel alimentées avec les trois régimes expérimentaux (A, B et C)......103
Tableau 30 : Mortalités des truites arc-en-cielsuivant les trois aliments durant les 222 jours.....106
Tableau 31: Facteur de condition des trois aliments (A, B et C).....109
Tableau 32 : Paramètres morphométriques des poissons nourris par l'aliment A.....116
Tableau 33 : Paramètres morphométriques des poissons nourris par l'aliment B.....117
Tableau 34 : Paramètres morphométriques des poissons nourris par l'aliment C 118
Tableau 35 : Paramètres morpho13métriques étudiées vue les trois échantillons de poissons. 119
Tableau 36 : Analyse biochimique des filets (A, B et C)(Annexe 4) 120
Tableau 37 : Questionnaire des paramètres sensoriels (Annexe 5).....121
Tableau 38 : Pourcentages protéiques de deux formulations.....128
Tableau 39 : Hypothèses proposées pour le réglage de la température de l'extrudeuse.....133
Tableau 40 : Densité et nombre des truites dans chaque bassin d'essai.....136
Tableau 41 : Calcul de rationnement selon le taux de rationnement de l'aliment B.....138
Tableau 42 : Méthode d'analyse physico-chimique.....139
Tableau 43 : Analyses biochimiques des ingrédients utilisés dans les formulations 141
Tableau 44 : Analyses biochimiques des matières premières en acides aminées.....142
Tableau 45: Analyse biochimique de l'huile de poisson.....142
Tableau 46 : Analyses biochimiques des deux formules (Annexe 7).....143
Tableau 47 : Données des performances zootechniques de la truite arc en ciel 144
Tableau 48 : Mortalités des truites suivant le régime alimentaire durant l'essai 145
Tableau 49 : Quantité d'aliment et gain de poids des poissons nourris par les 3 types d'aliments (F1,F2 et B). 145

Tableau 50 : Performances de croissance de la truites arc-en-ciel alimentées avec les deux formules élaborées (F1 et F2) et l'aliment comparé (B) *146*
Tableau 51 : Paramètres zootechniques pour les trois aliments comparés *148*
Tableau 52 : Paramètres morphométriques étudiés pour les trois aliments *150*
Tableau 53 : Paramètres physico-chimiques de l'eau de source Oum Er Rbia (Valeur moyenne sur la période Septembre 2017-Octobre 2017 ..... *157*
Tableau 54 : Pourcentage de taux de protéines dans les trois aliments testés *157*
Tableau 55 : Concentration des rejets ammoniacal aux trois aliments testés (Valeur moyenne sur la période de suivi). *157*
Tableau 56 : Taux de protéines dans les trois aliments (Valeur moyenne sur la période de suivi) *160*
Tableau 57 : Performances des deux formulions en fonction de leurs rejets *166*
Tableau 58 : Croissance de la truite arc-en-ciels elon les trois aliments (B, F1 et F2) *167*
Tableau 59 : Différence de croissance entre les trois aliments (B, F1 et F2) *167*
Tableau 60 : Calcul économique de prix de revient entre aliment B et F2 ..... *168*
Tableau 61 : Modélisation par des équations mathématiques pour les rejets de l'aliment B *168*
Tableau 62 : Modélisation par des équations mathématiques pour les rejets de l'aliment F1 ..... *169*
Tableau 63 : Modélisation par des équations mathématiques pour les rejets de l'aliment F2 ..... *169*

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Forme des bassins d'essai (BCA, BCB, BCC, BCD, B1 et B2).....58
Photo 2 : Ichtyo-mètre.....89
Photo 3 : Balance de mesure de marque Mettler Toledo.....89
Photo 4: Échantillonnage des poissons au stade de pré-grossissement (40-100g).....92
Photo 5 : Échantillonnage des poissons au stade de grossissement (500-1000g).....92
Photo 6 : Abattage des poissons.....93
Photo 7 : Éviscération des poissons.....94
Photo 8 : Filetage de la matière première.....94
Photo 9 : Degré de saumonisation de la matière première.....94
Photo 10: Salage des filets des truites.....95
Photo 11 : Rinçage des filets de truites.....95
Photo 12 : Essai de dégustation des trois produit fini (A, B et C).....96
Photo 13 : Échantillons de trois produits finis destinés au laboratoire d'analyse.....98
Photo 14 : Attaque bactérienne de la truite arc-en-ciel.....108
Photo 15 : Degré de saumonisation de filets de poissons nourris par les trois aliments testés (A, B et C).....120
Photo 16 : Matières premières utilisées pour la fabrication de l'aliment de la truite arc-en-ciel.....129
Photo 17 : Échantillons des ingrédients des formulations.....129
Photo 18 : Machine Jinan Datong.....130
Photo 19 : Balance de pesage des matières premières.....131
Photo 20 : Raclette de mélangeur.....131
Photo 21 : Appareil de mesure de l'humidité.....132
Photo 22 : Forme de pré-conditionneur.....132
Photo 30 : Produits finis (F1 et F2).....136
Photo 23 : Système d'extrusion.....133
Photo 24 : Tableau de réglage de la température.....133
Photo 25 : Forme de l'aliment aprés l'extrusion.....134
Photo 26 : Système de coupe.....134
Photo 27 : Matrice de coupe.....135
Photo 28 : Séchoir.....135
Photo 29 : Convoyeur et l'enrobeur.....136
Photo 30 : Produits finis (F1 et F2).....136
Photo 31 : Filet de la truite arc-en-cielnourrie par les deux formulations.....150

Sommaire

AVANT PROPOS.....I
DÉDICACES.....VII
ملخـــــص.....X
RESUME.....XI
ABSTRACT.....XII
LISTE DES FIGURES.....XIII
LISTE DES TABLEAUX.....XIV
LISTE DES PHOTOS.....XVI

INTRODUCTION GENERALE.....1
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....4
I. Présentation de l'aquaculture.....4
1.1. Pisciculture continentale.....5
1.1.1. Pisciculture continentale dans le Monde 5
1.1.2. Pisciculture continentale au Maroc.....6
1.1.3. Espèces de pisciculture continentale au Maroc.....7
1.2. Caractéristiques biologiques et écologiques de la truite arc-en-ciel.....8
1.2.1. Description.....8
1.2.2. Morphologie commune 9
1.2.3. Reproduction 9
1.2.4. Croissance 10
1.2.5. Alimentation naturelle.....11
1.2.6. Exigences écologiques 13
1.2.7. Heure de prélèvement des eaux à analyser.....21
1.3. Techniques d'élevage.....22
1.3.1. Production Mondiale en élevage de la truite arc-en-ciel 22
1.3.2. Problèmes et contraintes majeurs de l'élevage de la truite arc-en-ciel.....23
1.3.3. Charge.....24
1.3.4. Densité d'élevage 24
1.3.5. Eau d'élevage 25
1.3.6. Pratiques de l'alimentation.....25
1.4. Besoins de la truite arc-en-ciel en nutriments.....27
a. Protéines.....27
b. Acides aminées 28
c. Lipides.....29
d. Glucides 31
e. Énergies 31
f. Vitamines.....33
g. Minéraux et oligoéléments.....34
1.5. Qualité du produit fini (Truite arc-en-ciel grossit).....35

a. Lipides.....35
b. Sites des dépôts lipidiques 35
c. Qualité de la chair 35
d. Qualités nutritionnelles.....36
e. Qualités organoleptiques 36
f. Effet de l'aliment sur le produit fini 36
1.6. Production d'un aliment écologique.....37
1.7. Formulation de l'aliment de la truite arc-en-ciel 38
1.8. Fabrication de l'aliment.....46

PARTIE I : QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA STATION D'ELEVAGE DE LA TRUITE ARC-EN-CIELET IMPACT SURL'OUED OUM ER-RBIA.....53
INTRODUCTION.....53
CHAPITRE 1 : MATERIEL ET METHODES.....55
1.Présentation du site d'étude.....55
1.1. Localisation géographique.....55
1.2. Objectifs de la station de grossissement d'Oum Er-Rbia.....56
1.3. Bassins d'essai.....57
1.4. Prélèvement des eaux des bassins.....58

CHAPITRE 2 : QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX D'ALIMENTATION DES BASSINS DE L'EXPERIMENTATION.....62
1. Introduction.....62
2. Résultats.....63
3. Discussion.....68
4. Conclusion.....71
CHAPITRE 3 : IMPACT DES REJETS DES TROIS ALIMENTS ETUDIES (A,B ET C) SUR L'OUED OUM ER-RBIA 72
3.1. Résultats.....72
3.2. Impact des trois aliments sur l'Oued Oum Er-Rbia.....77
3.3. Discussion.....78
3.4. Conclusion.....81

PARTIE II : EFFETS DE TROIS ALIMENTS DE DIFFERENTES COMPOSITIONS BIOCHIMIQUES SUR LES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES ET LA QUALITE DU PRODUIT FINI DE.....84
LA TRUITE ARC-EN-CIEL.....84
INTRODUCTION.....84
CHAPITRE 1 : MATERIEL ET METHODES.....85
1. Période d'étude.....85
2. Matériel biologique.....85
3. Aliments testés.....86
4. Analyses biochimiques des trois aliments testés.....87
5. Taux de nourrissage 87
6. Ration et distribution de l'aliment.....88
7. Méthodes analytiques.....88
8. Méthode d'échantillonnage 91

9. Evaluation de la quantité d'aliment ingére par les poissons 92

10.Dispositif expérimental de transformation des truites en filets 92

12.. Paramètres morpho-métriques. 98

13.Composition biochimique des aliments étudiés selon la fiche technique des fournisseurs.....98

13. Analyse statistique 99

CHAPITRE 2 : EFFETS DES TROIS ALIMENTS TESTES SUR LES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DE LA TRUITE ARC-EN-CIEL.....100

1. Introduction.....100

2. Résultats.....101

2.1. Analyse biochimique des trois aliments étudiés 101

2.2. Performances de croissance 105

3. Discussion.....112

4. Conclusion.....115

CHAPITRE 3 : EFFETS DES TROIS ALIMENTS SUR LA QUALITE DU PRODUIT FINI (APRES TRANSFORMATION).....116

1. Introduction.....116

2. Résultats.....117

2.1. Paramètres morphométriques 117

2.2. Analyse biochimique du produit fini 119

2.3. Système d'acquisition des données 121

3. Discussion.....121

4. Conclusion.....124

PARTIE III : ELABORATION D'UNE FORMULATION PERFORMANTE ET ECOLOGIQUE POUR L'ALIMENTATION DE LA TRUITE ARC-EN-CIEL.....126

INTRODUCTION.....126

CHAPITRE 1 : MATERIEL ET METHODES.....127

1. Élaboration des formulations.....127

2. Choix des matières premières.....128

3. Analyse biochimique des matières premières choisies.....129

3.1. Prélèvement des échantillons.....129

4. Analyses de la composition des ingrédients.....129

5. Processus de fabrication.....130

5.1.Pesage des matières premières utilisées 130

5.2.Mélange des matières premières 131

6. Analyses Biochimiques des deux formulations élaborés.....136

7. Essai de grossissement.....137

7.1. Présentation du site d'étude 137

7.2. Échantillonnage.....137

7.3. Rationnement et distribution 138

7.4. Itinéraire zootechnique de l'élevage. 138

7.5.Prélèvement des eaux des bassins.....139

CHAPITRE 2 : SUIVI DE LA CROISSANCE DE LA TRUITE ARC-EN-CIEL NOURRIE PAR LES DEUX FORMULATIONS ELABOREES (F1 ET F2).....140
1. Introduction.....140
2. Résultats.....141
2.1. ..Analyses biochimiques des matières premières utilisées dans les deux formulations (F1 et F2).....141
2.2. Performances de croissance.....143
2.2.1. Croissance de la truite arc-en-ciel.....143
2.2.2. Survie.....145
2.2.3. Indice de conversion.....145
2.3. Paramètres morphométriques.....149
2.4. Analyse statistique.....150
3. Discussion.....151
4. Conclusion.....154
CHAPITRE 3 : CARACTERISATION DES EFFLUENTS DES BASSINS DE GROSSISSEMENT.....155
1. Introduction.....155
2. Résultats.....156
2.2. Nitrites et nitrates.....158
2.3. Effet de la teneur en phosphore de l'aliment sur l'excrétion du phosphore par la truite arc-en-ciel.....159
2.4. Matières en suspension.....160
2.5. DCO.....161
3. Discussion.....161
4. CONCLUSION.....164
CHAPITRE 4 : MODELISATION DES REJETS DES BASSINS AVEC LES TROIS ALIMENTS ETUDIES (B, F1 ET F2).....165
1. Introduction.....165
2. Résultats.....165
3. Discussion.....170

SYNTHESE ET CONCLUSION GENERALE.....172
PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS.....175
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....176
ANNEXES.....194

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'effectif de la population mondiale et l'augmentation de la consommation moyenne de poissons par habitant, suite à l'amélioration de la qualité de vie des personnes des pays en voie de développement ont engendré une explosion de la demande en poissons.

Pour répondre à ce besoin incessant, l'aquaculture continentale a connu un fort développement avec une attention particulière aux différents stades de croissance des poissons surtout la composition biochimique des aliments qui doit être en adéquation avec les besoins nutritionnels de l'espèce élevée.

D'un point de vue nutritionnel, une alimentation idéale serait composée de petits poissons sauvages issus de la pêche en mer, dont les captures sont destinées à l'alimentation humaine. La pêche minotière qui approvisionne le secteur de l'aquaculture en harengs, sardines, anchois, merlans bleus, chinchards et maquereaux est également soumise à des quotas. Il a donc été nécessaire de modifier la composition des aliments pour les poissons carnivores d'élevage, en diminuant leur teneur en farines et huiles de poissons, qui étaient jusqu'ici les principaux pourvoyeurs de protéines, acides aminés indispensables et acides gras oméga-3 de type DHA (acide docosahexaénoïque) et (EPA) acide eicosapentaénoïque.

Jusqu'en 2001, les taux d'incorporation des farines et des huiles de poissons n'ont pas beaucoup évolués (30-40% et 15-25% respectivement) dans les aliments aquacoles, puis une baisse a été initiée et elle s'est accentuée au fil des années. En 2011, il ne restait plus que de 10 à 15% de farine de poissons et 10 à 12% d'huile de poissons dans les aliments des espèces de poissons carnivores (Burel et Médale, 2014).

Du fait de leur disponibilité et de leur coût accessible, les végétaux sont devenus la principale source de protéines et d'huiles pour les poissons carnivores d'élevage permettant d'assurer le développement d'une aquaculture durable. Cette substitution des farines et des huiles de poissons par des farines et huiles d'origine végétale est, cependant, limitée par les capacités d'adaptation physiologique des poissons carnivores à de tels régimes. Malgré des taux de substitution croissants, ces poissons acceptent rarement des aliments totalement dépourvus de farines et d'huiles de poissons. La prise alimentaire, la mortalité en période d'alevinage et la croissance étant les principaux paramètres zootechniques impactés par cette substitution.

Pour améliorer leur tolérance, la fabrication d'aliments pour poissons a inclus des procédés de transformation des végétaux tels que la cuisson, l'extrusion, l'extraction alcoolique, la maturation enzymatique, etc.

Ces procédés permettent, en effet, de concentrer la teneur en protéines des farines végétales en éliminant le maximum de fibres, de diminuer leur teneur en facteurs antinutritionnels, de rendre leurs composés alimentaires plus digestibles, notamment les glucides et enfin d'améliorer leur palatabilité.

Cependant, l'apport d'aliment au poisson est un paramètre primordial qui nécessite des études approfondies pour d'une part, assurer un meilleur taux de conversion, et d'autre part, respecter l'environnement.

Les impacts environnementaux négatifs de l'aquaculture sont, en effet, très nombreux, mais le plus préoccupant reste l'eutrophisation des cours d'eau récepteurs des effluents des fermes aquacoles (Correl, 1998 ; Ouellet, 1999 ; Vandenberg, 2001). Les principaux polluants en causant ce phénomène sont le phosphore (P), l'azote (N) et les matières organiques en suspension (Correl, 1998). Ces polluants sont essentiellement d'origine alimentaire.

Ces préoccupations environnementales de l'aquaculture ne datent pas d'hier. Elles ont amené les chercheurs et les producteurs à explorer les voies et moyens pour faire de l'aquaculture une activité viable et durable afin de lui permettre de continuer à jouer le rôle important qu'elle joue déjà dans l'approvisionnement mondial en produits halieutiques. Cependant, les moyens scientifiques et techniques actuels sont loin d'offrir la solution aux problèmes environnementaux que pose le développement aquacole.

Dans ce contexte, le présent travail initié en janvier 2015 en collaboration avec les domaines agricoles «Domaine Ain Aghbal-Azrou», fait partie du projet de developpement durable des domaines.

Ce travail vise l'optimisation de l'alimentation par l'élaboration d'un aliment écologique performant avec des ingrédients énergétiques locaux et disponibles qui répondent aux exigences nutritionnelles et métaboliques de la truite arc-en-ciel ainsi que les exigences environnementales du milieu récepteur.

Pour répondre aux exigences des consommateurs et diminuer les impacts environnementaux, il devient essentiel d'optimiser l'alimentation et maintenir une haute qualité de l'aliment piscicole.

Afin de proposer aux truites des aliments alternatifs qui favorisent une croissance proche de celle observée lorsqu'elles bénéficient d'un régime traditionnel à base d'huiles et de farines

de poisson, il est primordial de comprendre les mécanismes biologiques qui expliquent les baisses de performances observées. Ils se manifestent par une baisse de l'ingestion, des perturbations du métabolisme énergétique et de la croissance musculaire. Ces indicateurs sont suivis lors du changement de formulation ou de stratégie alimentaire. Leur meilleure compréhension permettra d'adapter les formulations alimentaires et d'orienter la transformation des matières premières. Il est, en effet, important de diminuer, dans les aliments pour truite, certains ingrédients ou composés d'origine végétale qui leur sont délétères et nuisent à leur croissance.

Pour répondre à ces principaux objectifs, cette étude sera structurée comme suit :

- Une synthèse bibliographique,
- La première partie traitera la qualité physico-chimique des eaux de la station d'élevage de la truite arc-en-ciel et impact sur l'oued Oum Er-Rbia. Elle sera subdivisée en deux chapitres :
    - *Qualité physico-chimique des eaux d'alimentation des bassins d'essais de grossissement de la truite arc en ciel.*
    - *Impact des rejets des trois aliments étudiés (A,B et C) sur l'Oued Oum Er-Rbia*
- La deuxième partie concernera l'essai comparatif des trois aliments extrudés (A, B et C). Elle traite deux volets :
    - *Effets des trois aliments sur les performances zootechniques de la truite arc-en-ciel.*
    - *Effets des trois aliments sur la qualité du produit fini en matière de transformation et de saumonisation de la chair.*
- La troisième partie portera sur l'élaboration d'une formulation alimentaire écologique adaptée aux exigences de la truite arc en ciel. Cette partie inclura trois chapitres :
    - *Effet de l'aliment élaboré sur les performances zootechniques de la truite arc-en-ciel.*
    - *Caractérisation des effluents des bassins de grossissement*
    - *Modélisation des rejets des bassins avec les trois aliments étudiés B, F1 et F2.*
- Conclusion générale.
- Perspectives et recommandations.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Présentation de l'aquaculture

Selon la FAO (2010), l'aquaculture est l'élevage d'organismes aquatiques (poissons, mollusques, crustacés, plantes aquatiques, etc) avec une intervention humaine dans le processus d'augmentation de la production et avec un statut de propriété individuelle ou juridique du stock en élevage. C'est une activité humaine qui date de la nuit des temps, comme le témoignent des vestiges de tilapia et de carpe datant de 2000 ans, retrouvés respectivement en Égypte et en Chine.

Les premiers essais d'élevage ont toutefois été attribués à Jacobi qui réussit les premières fécondations artificielles de salmonidés en 1763 (Vivier, 1956). L'aquaculture est pratiquée partout dans le monde avec de nombreuses espèces variées et sous diverses formes.

En 2016, la production aquacole mondiale comprenait 80,0 millions de tonnes de poisson de consommation et 30,1 millions de tonnes de plantes aquatiques, ainsi que 37 900 tonnes de produits destinés à une utilisation non alimentaire. La production halieutique d'élevage destinée à la consommation comprenait 54,1 millions de tonnes de poissons, 17,1 millions de tonnes de mollusques, 7,9 millions de tonnes de crustacés et 938 500 tonnes d'autres animaux aquatiques. Tous les ans depuis 1991, la Chine, de loin le principal producteur de poisson d'élevage destiné à la consommation en 2016, produit plus que tous les autres pays du monde réunis. En 2016, les autres grands producteurs étaient l'Inde, l'Indonésie, le Viet Nam, le Bangladesh, l'Égypte et la Norvège (FAO, 2018).

Bien que l'aquaculture européenne dénombre plus de 70 espèces de différentes poissons, la truite arc-en-ciel, le saumon, la daurade, le bar et la carpe représentent 90 % de la production totale. En France, la pisciculture d'eau douce est dominée par la truite arc-en-ciel, sa production ayant connu une croissance entre les années 1980 et 2000, puis une chute jusqu'en 2012.(FAO, 2011).

Au Maroc, l'aquaculture continentale depuis ses débuts en 1924, a été longtemps réduite à sa composante de repeuplement des cours d'eau marocains. Ce n'est qu'à partir des années 80 que l'administration chargée des Eaux et Forêts a réorienté cette activité vers la pisciculture alimentaire, en encourageant la mise en place d'élevages extensifs au niveau des retenues de barrage et intensifs dans des unités piscicoles privées.

Tableau 1 : Récapitulatif des activités des entreprises aquacoles marocaines en 2015

Type d'aquaculture	Localité	Nombre d'entreprises	Capacité de production déclarée (tonnes)	Production actuelle (tonnes)	Nb emplois actuels (liés à la production)	Projection de production dans 2 ans	Projection d'embauche dans 2 ans
Poissons marins	M'diq	1	200	155	22	300	6
Huîtres	Oualidia	4	625	110	37	200	16
	Dakhla	8	2 650	479	64	500	29
Moules	Cala iris	1		80	5	150	14
Poissons Eau Douce	Azrou et Tanger	2	3 200	550	30	600	26
Total général		**16**	**6 675**	**1 374**	**158**	**1 750**	**91**

1.1. Pisciculture continentale

1.1.1. Pisciculture continentale dans le Monde

L'aquaculture continentale est toute activité d'élevage ou de culture d'organismes aquatiques dans les eaux continentales tels que les poissons, les amphibiens, les annélides, les mollusques, les algues et les crustacés. Elle comprend également les écloseries, la conservation à l'état vivant ou le grossissement des espèces aquatiques.

L'aquaculture est aujourd'hui la source de protéines animales qui connaît la plus forte croissance à l'échelle mondiale. Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2010), sur les 148 millions de tonnes de poissons, mollusques et crustacés consommés dans le monde 59,9 millions provenaient de l'aquaculture.

En 2016, l'aquaculture continentale a produit 51,4 millions de tonnes de poissons de consommation, soit 64,2% de la production mondiale de poissons d'élevage destinés à la consommation, contre 57,9% en 2000 (FAO, 2018).

Au cours des trois décennies (1980-2010), la production mondiale de poissons d'élevage destinés à la consommation a été multipliée par 12, avec un taux de croissance annuel moyen de 8,8% (FAO, 2018).

En 2011, les poissons d'eau douce dominent la production aquacole mondiale avec (56,4 %, 33,7 millions de tonnes), suivis des mollusques (14,2 millions de tonnes), des crustacés (5,7 millions de tonnes), des poissons diadromes (1,8 million de tonnes) et des autres animaux aquatiques (814 300 tonnes) (FAO, 2012).

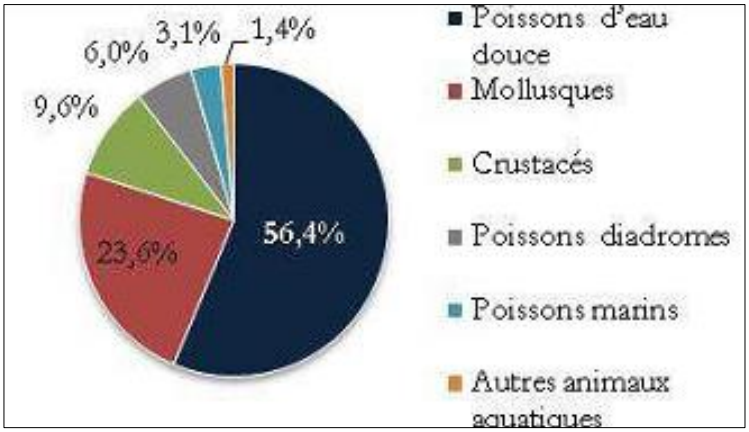


Figure 1 : Production aquacole mondiale (FAO,2012).

Les espèces les plus représentées tel qu'il est indiqué dans la Figure 2, sont les cyprinidés avec plus de 24 millions de tonnes puis les cichlidés (Tilapia), près de 3,5 millions de tonnes et les salmonidés avec 2,3 millions de tonnes (FAO, 2012).

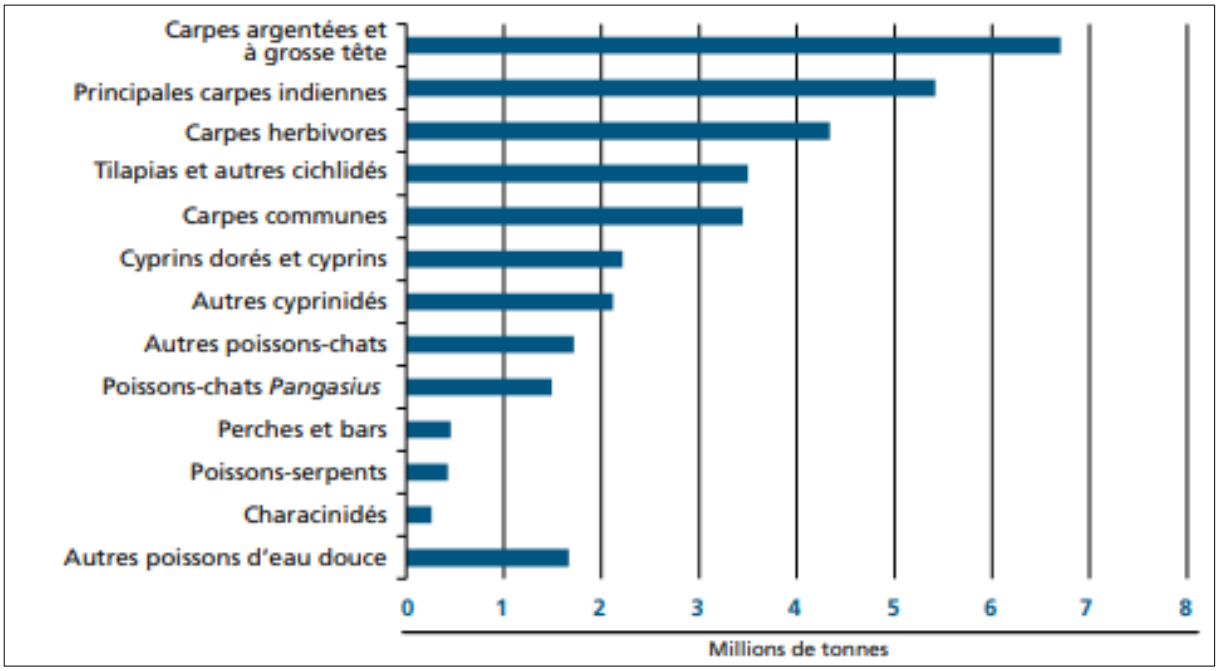


Figure 2 : Production aquacole des principales espèces ou des principaux groupes d'espèces d'eau douce en 2010 (FAO, 2012).

1.1.2. Pisciculture continentale au Maroc

La pisciculture continentale a démarré en 1924 avec la mise en place de la station de salmoniculture d'Azrou, dans l'objectif de développer la pêche de loisir au Moyen Atlas.

Dans les années 80, la pisciculture d'eau chaude a vu le jour avec la création de la station Deroua à Béni Mellal dans laquelle la maitrise de la technique de reproduction artificielle des carpes a été bien réussie . Le secteur privé n'a commencé à s'intéresser à ce créneau qu'à partir des années 90 avec la mise en place d'unités aquacoles de truite arc en ciel, de carpes, d'anguille et de tilapia.

Actuellement, la production piscicole en eau douce est dominée par la pisciculture extensive basée sur les opérations de repeuplement. Au niveau des retenues de barrage, 90% des alevins déversés sont représentés par la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*) (HCEFLCD, 2013), le reste est représenté par la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella*) (5%), le brochet (*Esox lucius*) (3%) et le black bass (*Micropterus salmoides*) (2%). Ces opérations de repeuplement permettent le développement de la pêche commerciale, l'approvisionnement des populations riveraines en protéines animales, la promotion de la pêche récréative et l'amélioration de la qualité de l'eau à travers la lutte biologique contre l'eutrophisation.

1.1.3. Espèces de pisciculture continentale au Maroc

- **Poissons d'eau chaude**

Ils sont représentés principalement par les cyprinidés. La première introduction dans les eaux marocaines a eu lieu en 1924 avec l'introduction de la carpe commune (*Cyprinus carpio*) à partir de la France pour le repeuplement des lacs naturels. En 1983. La carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella*) et la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix*) ont été importées de la Hongrie pour lutter contre l'eutrophisation au niveau des canaux d'irrigation du Loukkos.

Actuellement, la reproduction artificielle des ces espèces est maitrisée au niveau des écloseries relevant de l'administration des eaux et forêts. La production annuelle de cyprinidés toutes espèces confondues est de 10 millions d'alevins destinés au repeuplement des lacs et retenues de barrage.

En 2004, le tilapia du Nil (*Oerochromis niloticus*) a été introduit au Maroc pour des fins d'élevage.

Le développement de cet élevage peut se réaliser au niveau des régions où la température de l'eau peut être située entre 28 et 30°C, le tilapia peut atteindre la taille marchande de 500g en 6 à 8 mois (Lazard, 2009). Selon des études réalisées sur les barrages Hassan 1er et barrage Ahmed Hanssali, la taille peut dépasser 800g (Hasnaoui et Droussi, 2018).

- **Poissons d'eau froide**

Ils sont représentés principalement par les salmonidés. La truite fario (*Salmo truttamacrostigma*) est une espèce endémique qui vit dans les cours d'eau du Rif, du Moyen Atlas et du Haut Atlas ainsi que dans certains lacs d'altitude. La truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) est une espèce introduite au Maroc en 1925 dans l'objectif de diversifier les produits de la pêche récréative. La production en alevins de cette espèce a

dépassé 1,4 millions en 2010 destinés au repeuplement des parcours de pêche (HCEFLCD, 2017).

Actuellement, la reproduction artificielle est maitrisée et la production annuelle d'alevins est de l'ordre de 2 millions (HCEFLCD, 2017). D'autres espèces piscicoles ont été introduites telles que la tanche (*Tinca tinca*) en 1934, le sandre (*Stizostedion lucioperca*) et la perche (*Perca fluviatilis*) en 1939 (Mouslih, 1987).

Au niveau national, seule la ferme aquacole privée du domaines agricoles produit la truite arc en ciel. Cette production a atteint 130 tonnes en 2017.

La réussite de la production de la truite arc-en-ciel exige la sélection des sites d'élevage qui doivent combiner entre plusieurs facteurs environnementaux notamment les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Cette espèce est très exigeante vis à vis de la teneur en oxygène dissous qui ne doit pas être inférieure à 7mg/l et la température optimale doit se situer entre 12°C et 18°C (Laird et Needham, 1988).

1.2. Caractéristiques biologiques et écologiques de la truite arc-en-ciel

1.2.1. Description

Les truites sont des poissons téléostéens représentées particulièrement par le genre salmo et par un grand nombre d'espèces, des sous-espèces et des variétés. Les espèces concernés par l'élevage sont : la truite fario (*Salmo truttamacrostigma)*et la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) originaires d'Amérique du Nord (Fig.3).

L'intérêt économique d'*Oncorhynchus mykiss*, intoduite dans toute l'europe au XIX siécle, est très important puisqu'elle présente dans de nombreuses fermes piscicoles où son élevage est bien maitrisé. La truite vit dans les eaux froides et claires des fleuves et des lacs dans des zones à fort courant avec des rochers submergés et de la végétation aquatique. On trouve également une variété dite «Truite à tête d'acier» vivant dans les estuaires, mais il s'agit d'une forme migratrice alors que la truite arc-en-ciel est sédentaire.

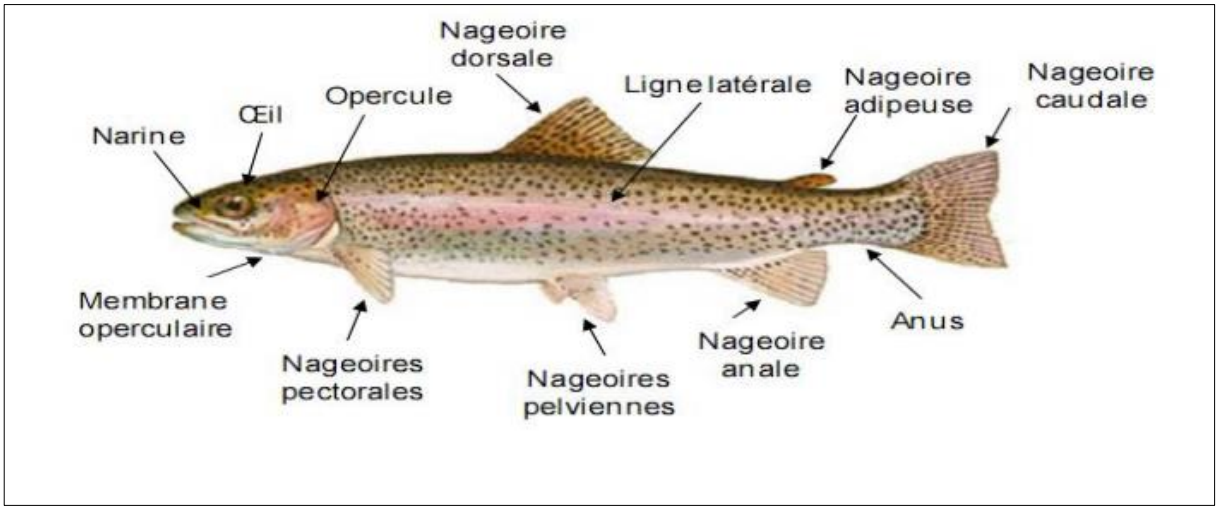


Figure 3 : Description de la truite arc-en-ciel (Oncorhynchus mykiss. Walbaum, 1792).

1.2.2. Morphologie commune

La truite arc-en-ciel comme toute les autres espèces des salmonidés, se caractérise par son aspect fusiforme. Par rapport à la truite fario, Cette espèce représente les caractéristiques suivantes :

- Corps allongé et fusiforme et flancs comprimés.
- Le dos, le haut du flanc et le sommet de la tête sont bleu acier, bleu vert ou jaune vert à presque brun.
- Les flancs sont argentés, blancs ou jaune-vert pâles à gris barrés d'une large bande allant du rose au rouge et tachetés de nombreux petits point noirs.
- L'abdomen est argenté, blanc ou d'une couleur allant du gris au jaunâtre.
- Les nageoires dorsale et caudale présentent des rangs convergeant de points noirs, tandis que les autres nageoires sont de couleurs chamois et peu tachetées.
- Les truites arc-en-ciel mâles et femelles à maturité affichent des couleurs plus foncées et vives alors que les autres truites qui n'ont pas atteint le stade de reproduction ont des couleurs plus délicates et éclatantes mais aux reflets argentées plus vifs.
- La peau des poissons est fine, lisse et recouverte d'une couche de mucus. Cela diminue la résistance à l'eau et protège biochimiquement la peau des parasites, des mycoses et des bactéries (Philips, 2006).

1.2.3. Reproduction

Oncorhynchus mykiss un est un poisson de pêche sportive maintenu par reproduction artificielle dans les pays où il est introduit.

Les mâles sont mâtures à l'âge de 2 ans et les femelles à 3 ans. La femelle donne 1500 à 2000 ovules par kg de son poids vif.

Le poids des ovaires atteint 20 à 22% du poids de la génitrice alors que celui des testicules ne dépasse guère 4%. La femelle peut conserver les ovules mûrs durant un mois si elle ne trouve pas de conditions d'eaux qui lui permettent d'accéder aux frayères où la température favorable est comprise entre 10 et 15°C (Bernard, 2010).

Le taux de fécondation dépasse 90% et le taux d'émergence des alevins atteint 80% dans des conditions normales, avec de nombreuses variations selon les cours d'eau. Les œufs ont un diamètre important de 5mm et un poids de 0,03g ce qui limite le nombre. Les réserves vitellines abondantes permettent un développement embryonnaire long (40 jours à 10°C) (Choubert, 1985).

À l'intérieur de la frayère, l'œuf puis l'alevin demeure à l'abri des prédateurs. Lorsque la vésicule est quasiment résorbée (après 10 à 20 jours), l'alevin sort de la frayère (Fig.4).

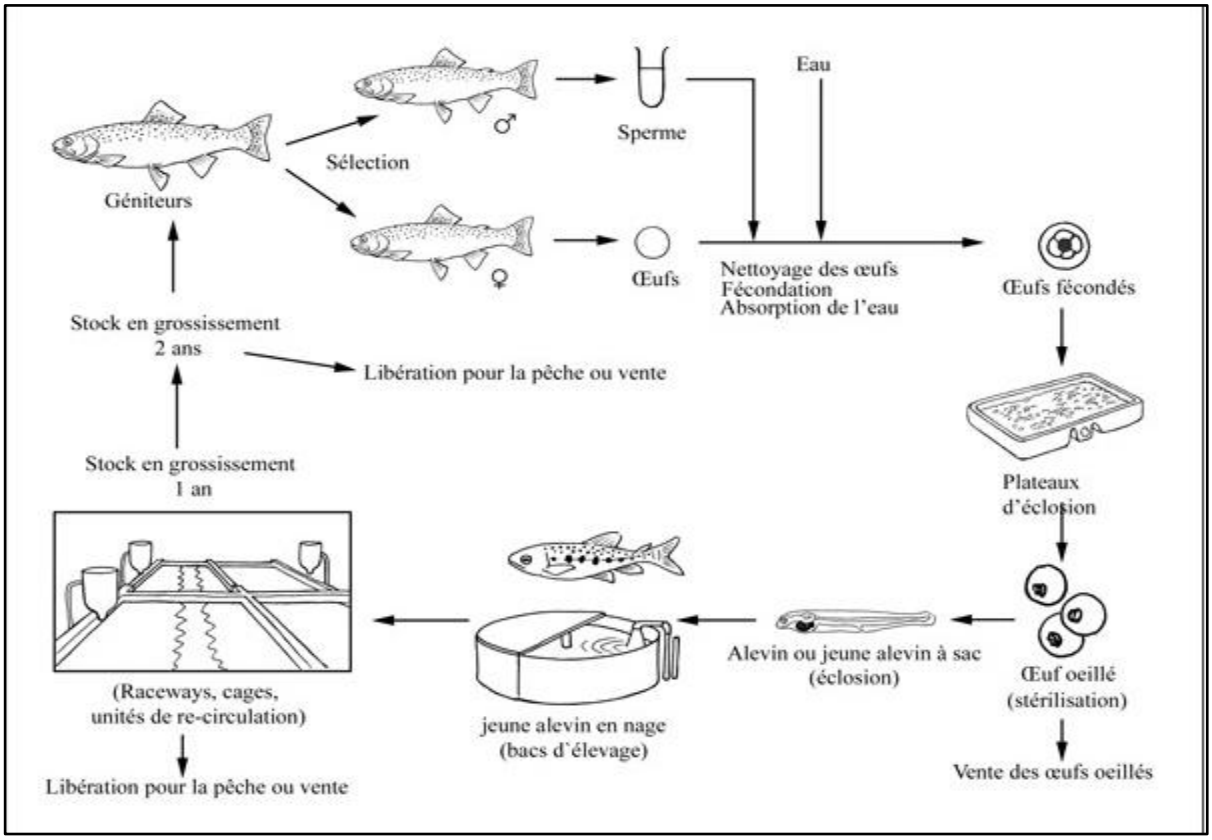


Figure 4 : Cycle d'élevage de la truite arc-en-ciel (FAO, 2011)

1.2.4. Croissance

La truite arc-en-ciel est une espèce d'eau douce anadrome. Elle migre des eaux douces à l'océan à l'âge de un à trois ans et reste dans l'eau de mer 18 à 30 mois. Après, les poissons matures reviennent dans les rivières et les torrents pour y frayer.

Dans des conditions naturelles, la croissance de la truite arc-en-ciel est très variable. Elle dépend de la température de l'eau et de la quantité de la nourriture disponible (Bernard, 2010). La truite arc-en-ciel est capable de résister au courant et commence à s'alimenter selon la densité du milieu qui induit une concurrence plus ou moins forte, la croissance est plus ou moins rapides.

Dans les torrents froids de montagne, elle ne pèse parfois que 20 g au bout d'un an (Behnke, 1992).

Dans les lacs, à alimentation abondante, elle peut au contraire atteindre entre 300 et 500 g en une année. La variété anadrome de la truite arc-en-ciel peut peser jusqu'à 19 kg et vivre sept ans, des chiffres à comparer avec ceux des certains poissons d'eau douce qui pèsent de 1 à 3 kg et vivent entre 3 et 10 ans (Behnke, 1992).

Le taux de croissance de la truite arc-en-ciel d'élevage est bien plus élevé que celui des poissons sauvages. Il varie, cependant, selon la température de l'eau. À une température constante de 15°C, la truite arc-en-ciel d'élevage en eau douce atteint un poids de500 g après la ponte des œufs pendant une période de 36 semaines (Figure 5).

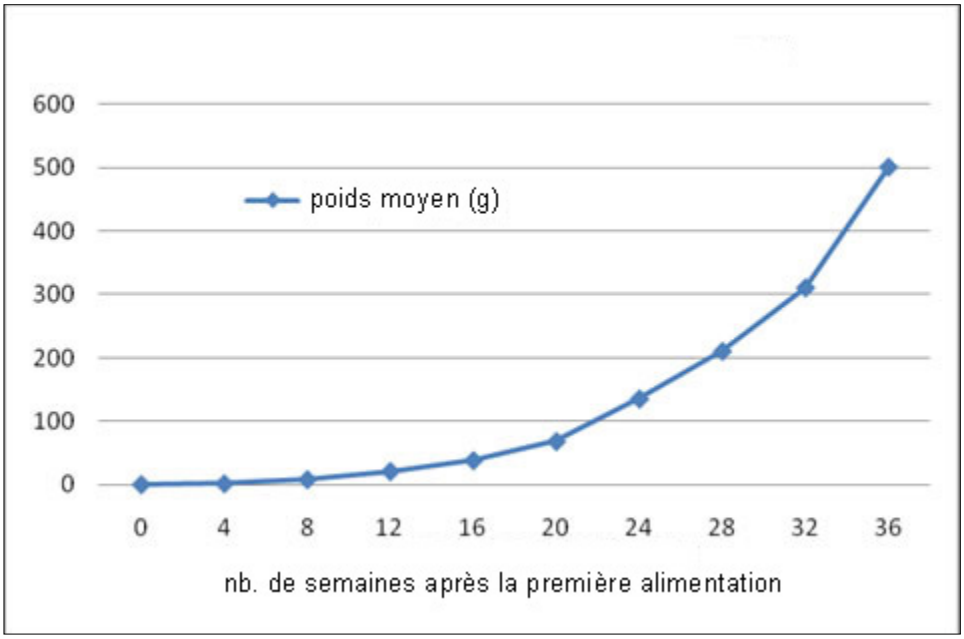


Figure 5 : Croissance de la truite arc-en-ciel dans les exploitations de l'Idaho.

1.2.5. Alimentation naturelle

Selon la nature de leur régime alimentaire, les poissons peuvent être classés comme détritivores, herbivores, omnivores ou carnivores. Les espèces détrivores se nourrissent de débris d'animaux et de végétaux, les espèces herbivores se nourrissent exclusivement ou presque de plantes, les espèces omnivores se nourrissent à la fois d'aliments d'origine animale

et végétale, tandis que les espèces carnivores comme la truite arc-en-ciel, consomment de la chair ou des tissus d'animaux vivants ou morts (Moyle et Cech, 1982).

Les espèces euryphages ont des régimes alimentaires variés, les espèces sténophage ont un régime alimentaire étroit et spécialisé, tandis que les espèces monophages ne se nourrissent que d'un seul type d'aliment, qu'il soit végétal ou animal. Les truites font parties des poissons euryphages et acceptent donc des régimes alimentaires larges à base de différents ingrédients.

Le système digestif de la truite arc-en-ciel est bien développé au moment où le frai se nourrit pour la première fois dans les cours d'eau. Il consomme des invertébrés terrestres et aquatiques (zooplancton et insectes). Les insectes demeurent le principal aliment de la truite arc-en-ciel pendant toute son existence, même s'il s'agit d'une espèce piscivore opportuniste (Rust, 2002).

La forme anadrome de la truite arc-en-ciel, appelée truite à tête d'acier, migre et s'y nourrit de krill, de petits poissons, de crevettes et de calmars.

La longueur du tube digestif de la truite arc-en-ciel correspond plus au moins à celle de son corps (Figure 6). Son appareil digestif est formé d'un estomac à pH acide en forme de J, d'un caecum pylorique, intestin proximal (intestin grêle) et d'un intestin distal (gros intestin) (Rust, 2002).

Les enzymes digestifs sont secrétées dans le caecum pylorique (sphincter pylorique) et l'intestin grêle où les nutriments sont absorbés. Le gros intestin joue un rôle d'osmorégulation, c'est là que la sécrétion d'électrolyte et l'absorption ont lieu. La truite arc-en-ciel possède un ensemble complet d'enzymes digestifs identiques à ceux des autres poissons et des animaux terrestres monogastriques (Olssen, 2011).

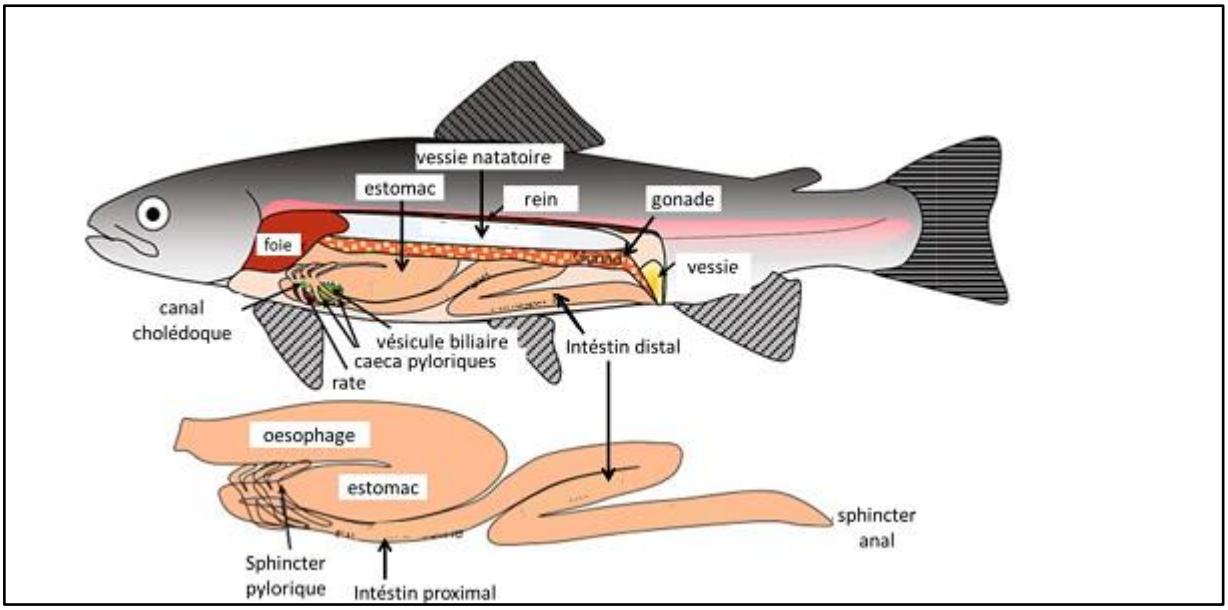


Figure 6 : Schéma du tractus digestif de la truite arc-en-ciel (Olssen, 2011).

1.2.6. Exigences écologiques

L'eau, principal facteur et outil de production en salmoniculture, apporte l'oxygène. Elle permet l'élimination des déchets du métabolisme et conditionne les performances zootechniques de l'élevage. Les exigences de la truite arc-en-ciel sont à la fois quantitatives (débit, vitesse) et qualitatives (composition de l'aliment, température de l'eau), limitant par conséquent les sites d'implantation des station d'élevage de la truite arc en ciel.

a. Température de l'eau

La température optimale de croissance pour la truite arc-en-ciel est de 15°C tandis que le maximum létal est de 20°C. Les basses températures induisent une diminution du métabolisme du poisson et donc une baisse de la prise alimentaire (Ducateau, 2015).

Les basses températures n'induisent pas de souffrance chez le poisson tandis que les températures élevées peuvent en provoquer (Petit, 1989).

La température est un paramètre difficilement contrôlable en pratique. La mise en place de zones d'ombrage ou d'aérateurs permettant un brassage de l'eau sont des techniques pour baisser la température de l'eau.

La température de l'eau est donc le facteur le plus important pour la croissance des poissons si l'alimentation est abondante (Morin, 2012 ; Ducateau, 2015).

En pisciculture, la croissance la plus rapide possible est recherchée pour des raisons de rendement de production et de rentabilité.

Tableau 2 : Températures optimales pour la croissance de certains salmonidés

Espèces	Température (°C)
Omble de fontaine	7 à 13
Omble chevalier	8 à 10
Truite Brun	9 à 15,5
Truite arc-en-ciel	10 à 15,5
Saumon atlantique	10 à 17

Chaque espèce de poisson peut vivre dans un certain intervalle de températures en ayant un préférendum thermique qui correspond à la zone de température où l'espèce se maintient le plus facilement.

À l'extérieur de cette zone de préférendum certaines espèces peuvent être appelées à disparaître (Arrignon, 1998). Selon Scott et Crossman (1974), le préférendum thermique de la truite arc-en-ciel se situe entre 13,0 et 21,0°C. Toutefois, la température préférentielle de la truite arc-en-ciel se situe entre 0°C et de 25°C (Raleigh et al., 1984). De plus, il arrive parfois que certains individus réussissent à survivre sur une courte période, à des températures allant jusqu'à 29,0°C (Matthews et Berg, 1997).

b. Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un paramètre abiotique important car il conditionne l'état de vie des organismes aquatiques. Sa teneur peut être critique, spécialement dans les milieux profonds et peu agités (Schlumberger, 1993).

La quantité d'oxygène dissous naturellement disponible pour l'élevage dépend de la température de l'eau et du débit. Le maintien d'un niveau satisfaisant en oxygène pour la croissance du poisson est mauvais en situation de faible débit et de température élevée conjuguée, situation fréquente en période d'étiage (ADAPRA, 2005).

Dans un élevage de truite arc-en-ciel, le taux minimal d'oxygène est de 5 à 5,5mg/l pour les truite en grossissement tandis qu'il est de 6 à 7mg/l pour les œufs et les alevins (Philips, 2006). Ces chiffres supposent une excellente fiabilité des systèmes d'alimentation en oxygène dans les fermes piscicoles. En pratique, l'oxygénation de l'eau est réalisée par des aérateurs d'eau ou par l'apport d'oxygène liquide (Philips, 2006).

Lors de l'élevage de la truite, le faible niveau d'oxygène (<6mg/l) entraîne une diminution de la consommation alimentaire, provoquant une perte de croissance et une augmentation des rejets. En effet, la consommation d'oxygène est plus forte au moment de la prise alimentaire et pendant l'activité digestive, aussi plus l'aliment est riche en nutriments plus le besoin en

oxygène sera grand. Les bénéfices de l'oxygénation concernent aussi l'état physico-chimique de l'eau à la sortie de la station de pisciculture (ADAPRA, 2005).

En général, les salmonidés survivent mieux dans les habitats dont la concentration en oxygène dissous est supérieure à 7 mg/l (Arrignon, 1998 ; Raleigh et al., 1984) à l'exception de la truite de Gila (Oncorhynchus Gilae) pour laquelle la concentration en oxygène dissous doit être supérieure à 9 mg/l (Pittenger, 2002).

La solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue lorsque la température augmente (Nisbet, 1996 ; Nissbet, 1968 ; Nisbet et Vernaux,1970), ainsi une eau de 5°C est à une concentration d'oxygène de 12,7mg ; 11,3mg/l à 10°C ; 10,0mg/l - 15°C,9mg /l à 20°C (Fig.7).

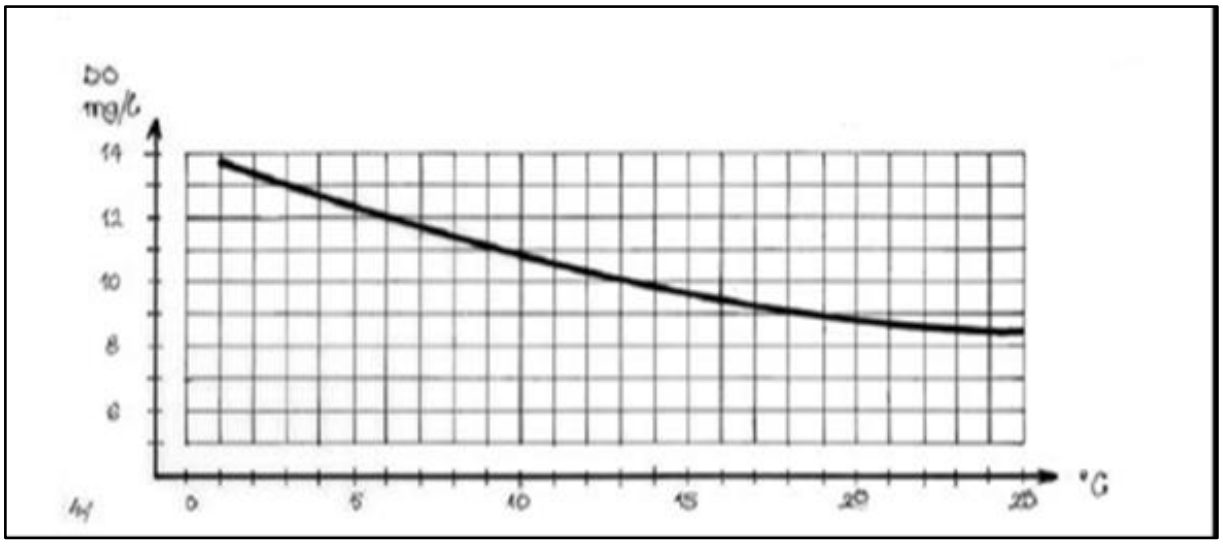


Figure 7 : Relation entre la température et la saturation maximale d'oxygène dissous dans l'eau

La capacité de dissolution de l'oxygène dans l'eau dépend également de la pression atmosphérique. Elle augmente quand la pression s'élève, les accidents lors d'épisodes dépressionnaires (orages) proviennent en partie de la chute de la pression atmosphérique (Barnabé et al., 1991).

Plus une eau est salée, moins elle dissout l'oxygène. Ce facteur est considéré comme limitant pour les élevages en mer et en eau saumâtre (Mathieu, 1981).

Une diminution du taux d'oxygène peut entrainer un retard de développement embryonnaire, des retards de croissance, une diminution des vitesses et de durée de nage, une immunodépression voire une hausse du taux de mortalité (Barnabé et *al.*, 1991).

c. pH

Il est difficile de déterminer une limite nette acceptable de pH. La gamme communément admise se situe entre 6,5 et 8,5. Au-delà de ces valeurs, les processus physiologiques du poisson sont altérés. Les variations brutales de pH sont également délétères pour les poissons (Calvez, 2013) (Fig.8).

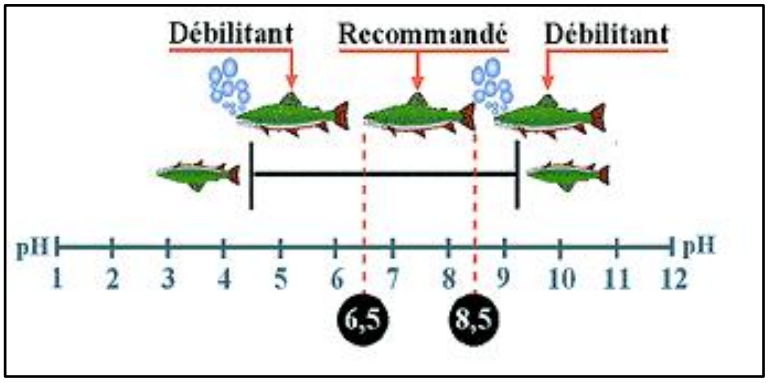


Figure 8 : Limites de tolérance des truites au pH de l'eau

d. Conductivité électrique

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique, elle indique la minéralisation du milieu. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs.

e. Amonium et ammoniac

L'azote ammoniacal est présent dans l'eau principalement sous forme ionisée, en ion ammonium (NH_4^+) et sous forme non ionisée, en gaz dissous ammoniac (NH_3) (Ducateau, 2005).

Ce sont les deux formes sous lesquelles l'azote ammoniacal se dissocie dans l'eau. C'est l'ammoniac (NH_3) qui est la forme la plus toxique pour le poisson. Il cause des lésions aux branchies, induit une diminution de la croissance et une moindre résistance aux maladies et aux facteurs de stress. Rare en milieu naturel ; son origine est principalement exogène à travers l'alimentation. De plus, l'ammoniac est une forme transitoire de dégradation des composés azotés organiques, oxydés en nitrites puis en nitrates.

- **Limites de tolérance de la truite arc-en-ciel**

Les seuils de toxicité de l'ammoniac varient selon les sources d'information. D'ailleurs, certains travaux ont démontré que la tolérance des poissons à l'ammoniac peut être augmentée avec une période d'acclimatation et une concentration élevée en oxygène. Il est recommandé que la concentration d'ammoniac sous la forme toxique (NH_3) ne doit pas dépasser 0,003mg/l pour les alevins et de 0,006 à 0,010mg/l pour les plus gros poissons (Marie, 1983).

Excrétion par les poissons

Les poissons ont besoin d'azote dans de nombreux processus métaboliques. Ces éléments azotées sont apportés aux poissons par leur nourriture, mais ils ne sont pas absorbés ou digérés complètement. Il y en a donc une certaine quantité rejetée dans le milieu (Ouellet, 1999).

L'azote est contenu surtout dans les protéines de l'aliment. La digestion transforme les protéines alimentaires en petits peptides et acides aminés qui, absorbés par l'intestin sont transportés par le sang vers le foie et les cellules. Les acides aminés ainsi procurés au poisson dépendent de la qualité de la protéine ingérée et peuvent avoir des conséquences non négligeables sur le comportement du poisson. En effet, outre leur transformation en protéines corporelles, leur utilisation comme source d'énergie et leur transformation en lipides et glucides, les acides aminés participent à d'autres conversions métaboliques dont certaines touchent le cerveau de l'animal (de la Noüe et Ouellet, 1992). Le contenu en protéines de l'aliment influencera donc directement les rejets azotés des poissons. De l'azote ingéré, 30 à 50 % est retenu pour la croissance, 40 à 60 % est excrétée sous forme dissoute, tandis que 10 à 25 % se retrouve dans les fèces (De la Noüe et Ouellet, 1992 ; Ouellet, 1999).

La figure 9 présente un bilan global de l'azote pour la truite arc-en-ciel en utilisant des données moyennes publiées par Cho et *al*. (1991) ; Kaushik et Cowey (1991) et Azevedo et *al*.(1998).

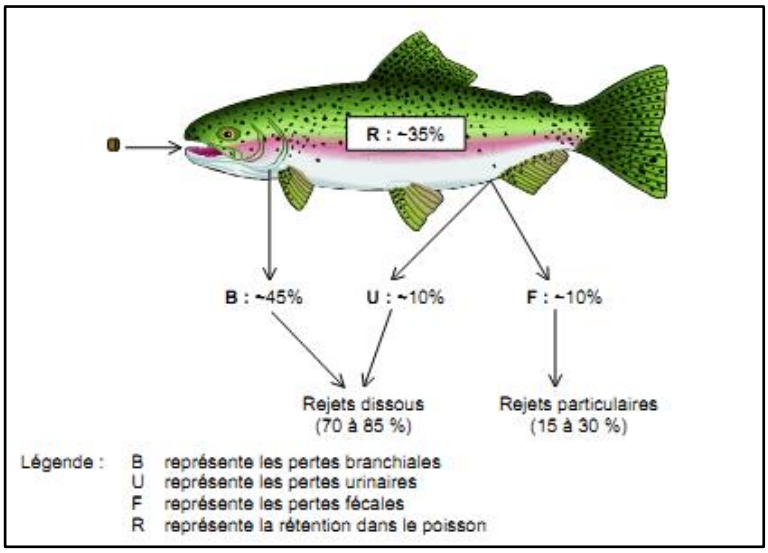


Figure 9 : Bilan de l'azote chez la truite arc-en-ciel.

Les déchets métaboliques azotés sont constitués principalement de l'ammoniac qui est excrété surtout par les branchies et dans l'urine. Une petite fraction d'azote (5 à 15 %) est aussi excrétée sous forme d'urée (Ouellet, 1999). 75 à 90 % de l'excrétion azotée dissoute est

faite au niveau des branchies (Ouellet, 1999). Kaushik et Cowey (1991) montrent que l'excrétion d'ammoniac se fait principalement par diffusion passive sous forme de NH_3.

Les déchets azotés solides proviennent de la dégradation des protéines dans la nourriture non ingérées ou non digérées par le poisson. Ceux-ci sont de plus en plus faibles étant donné l'amélioration de la digestibilité des protéines utilisées dans la fabrication des aliments commerciaux. De nombreux paramètres influencent la production de rejets azotés par les poissons, la forme d'excrétion d'azote et la quantité varient beaucoup selon les espèces, la température, la salinité et d'autres facteurs de stress. La quantité d'azote excrétée sous forme d'ammoniac diminue avec l'augmentation de la taille des poissons (Azevedo et *al*., 1998).

La quantité d'aliment ingéré et le taux d'azote de la ration sont les éléments déterminants de la production d'ammoniac. Une augmentation de la quantité de lipides dans la ration permet aussi une diminution de l'excrétion d'azote, puisque les protéines sont alors moins utilisées comme source d'énergie. L'excrétion d'ammoniac varie aussi selon les périodes de la journée puisqu'elle est liée aux périodes d'ingestion de l'aliment. Dosdat (1992a) et Azevedo et *al*. (1998) ont montré qu'une augmentation de la température de 6 à 15°C dans leurs expériences a amené une augmentation de la digestibilité apparente de la matière sèche, de l'azote et de l'énergie. Ceci a amené une réduction d'environ 40 % de l'excrétion des déchets solides totaux et azotés, mais l'excrétion des déchets azotés dissous n'a pas été affectée.

De façon générale, de 18 à 29 % de l'excrétion des déchets azotés est sous forme solide et de 71 à 82 % sous forme dissoute.

f. Nitrites et nitrates

Les nitrites (NO_2^-) sont également délétères pour les poissons (Ducateau, 2005). La toxicité des nitrites se manifeste, entre autres, par l'oxydation de l'hémoglobine en méthémoglobine en transformant l'ion Fe_2^+ en Fe_3^+, bloquant alors le transport de l'oxygène par l'hémoglobine et provoquant ainsi de cette façon la mort du poisson par asphyxie.

Les nitrates (NO_3^-) n'ont pas d'effet toxique sur les poissons et ne provoquent la mort qu'à des concentrations très fortes (Speece, 1973).

Les nitrates participent à l'eutrophisation des eaux qui est définie selon OECD (1982) comme un changement dans la productivité du milieu suite au sur-enrichissement de ses eaux par des substances nutritives minérales surtout l'azote et le phosphore

Le seuil de toxicité pour les nitrites se situe à 0,1 mg/l alors que pour les nitrates, elle est évalué à une teneur supérieure à 1000mg/l (Speece, 1973).

g. Phosphore

La forme sous laquelle le phosphore est excrété par le poisson a une influence directe sur l'enrichissement de l'environnement aquatique et sur la croissance des algues (Lall, 1991). De façon générale, le phosphore est excrété sous forme soluble ou particulaire. Le phosphore inorganique (soluble) se trouve sous la forme de l'ion orthophosphate (PO_4^{3-}) ou peut contenir des atomes d'hydrogène (HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$, H_3PO_4) selon le pH.

Le phosphore organique, pour sa part, dépend du type du groupement phosphate (acide, sel, ester), du nombre de groupes organiques qui sont attachés à la molécule d'oxygène (mono-, di-, triester), et de la diversité des groupes organiques (Vandenberg, 2001). La forme soluble affecte directement la qualité de l'eau tandis que la forme particulaire se dépose au fond des bassins ou s'accumule dans les sédiments. Le phosphore soluble est considéré comme un nutriment disponible pour la croissance des plantes. Selon des études de Lall (1991) et Ouellet (1999) ont déterminé la proportion de phosphore retenu par les poissons ainsi que les proportions de rejets dissous (branchies et urine) et particulaire (Hasnaoui et *al*., 2002).

Chez le poisson, le phosphore est concentré en majeure partie dans les arêtes, mais une part non négligeable se retrouve aussi dans les écailles. Tout le phosphore nécessaire aux poissons provient de leur alimentation. Le phosphore produit sera donc fonction de la quantité présente dans la nourriture. Il peut être d'origine animale (farine d'os, farine de poisson), végétale ou minérale. La digestibilité du phosphore est très variable selon les espèces et selon l'origine du phosphore. Le phosphore d'une farine de poissons de bonne qualité est digestible à 60 % par la truite arc-en-ciel (Dosdat, 1992b). Par contre, le phosphore d'origine végétale est sous forme de sels de calcium et de magnésium de l'acide phytique (aussi appelés phytates).

Ce phosphore est très peu utilisable par les poissons (de 0 à 20 %) parce qu'ils n'ont pas l'enzyme phytase nécessaire pour les digérer (Lall, 1991 ; Dosdat, 1992b).

Le phosphore ingéré est retenu par le poisson dans des proportions assez variables, selon la digestibilité de celui-ci dans l'aliment. Ainsi, Dosdat (1992b) affirme que le taux de rétention ne dépasse pas 30 % et qu'il s'établit en moyenne à 20 %. Par contre, Cho et *al*. (1991) ont calculé un taux de rétention de 39% en utilisant un modèle bioénergétique.

Azevedo et *al* (1998) ont obtenu des taux de rétention variant entre 38 et 55 % dans des expériences visant à étudier l'effet de la température et de la ration alimentaire sur l'utilisationdes nutriments.

La figure 10 présente un bilan global du phosphore pour la truite arc-en-ciel en utilisant des données moyennes publiées par Cho et *al*. (1991) ; Dosdat (1992b) et Azevedo et *al*. (1998).

Tel que présenté par cette figure, le phosphore non assimilé présent dans les fèces représente entre 40 et 50 % du phosphore apporté par l'aliment . De ce phosphore non assimilé, 60 à 80 % se trouvent sous forme particulaire. Approximativement, 20 % du phosphore apporté par l'aliment est excrété par les reins. La grande variabilité des valeurs est expliquée par le contenu en phosphore de l'aliment ainsi que la forme sous laquelle il est présent dans l'aliment et dans les fèces (Ouellet, 1998). Pour ce qui est du phosphore inorganique, la plus grande partie se trouve sous forme d'orthophosphates. Le reste est principalement du mono- ou di-hydrogène phosphate. Seuls les orthophosphates sont utilisables pour la croissance du phytoplancton.

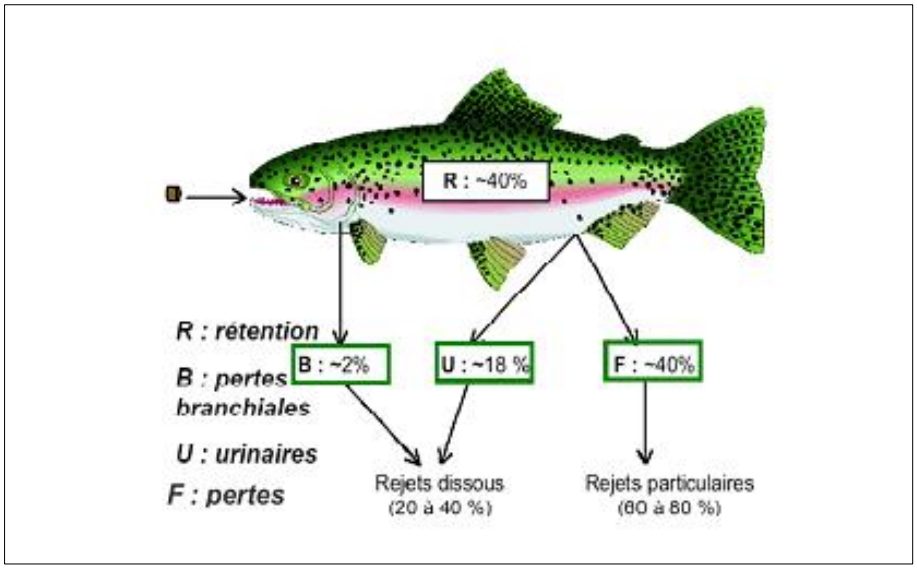


Figure 10 : Bilan du phosphore chez la truite arc-en-ciel (Ouellet, 1999).

h. Matiéres en Suspension

Les matières en suspension dans l'eau sont d'origine minérale ou organique via les fèces, débris végétaux et aliments non consommés. Elles peuvent diminuer la prise alimentaire des poissons, irriter leurs branchies et ainsi rendre plus difficile leur respiration.

Limites de tolérance

On donne ainsi deux niveaux de tolérance aux MES pour les salmonidés, soit un seuil très bas pour les œufs et alevins et l'autre plus élevé pour les plus gros poissons. Sigma (1983) a retenu les seuils suivants à la suite d'une revue de littérature :

- Incubation et alevinage : 3mg/l ;
- Grossissement : 25mg/l.

Le tableau 3 ci après présente la composition de l'eau pour l'élevage des salmonidés en eau douce.

Tableau 3 : Critére de qualité de l'eau pour l'élevage des salmonidés (Barnabé et al., 1991).

Oxygéne dissous	70% de saturation
Dioxyde de carbone	0-10
Alcalinité totale	10-400
pH	6,6- 8
Calcium	4- 150
Manganèse	0-0,01
Fer total -Ions ferreux -Ions ferriques	0-0,015 0 0,5
Phosphore	0,01-3
Nitrates	0-0,3
Nitrites	<0,2
Ammoniac	<0,2
Azote	<102 – 105
Matières en suspension	< 25
Demande biochimique en oxygéne (DBO_5)	< 10
Demande chimique en oxygéne (DCO)	< 30

1.2.7. Heure de prélèvement des eaux à analyser

Le profil d'excrétion d'azote ammoniacal est presque le même pour la plupart des espèces. Pour des poissons de 100 g nourris une seule fois par jour, le maximum d'excrétion apparaît 5 à 8 heures après le repas puis l'excrétion diminue pour se stabiliser à un niveau de base (excrétion endogène) (Dosdat, 1992a).

Les cinétiques d'excrétion varient en fonction de la taille de la ration alimentaire, de la quantité de protéines ingérées, du nombre de repas (après chaque repas apparaît un pic d'excrétion ammoniacale ; les animaux nourris de manière continue ne présentent pas de pic individualisé ; la valeur maximale des pics est diminuée par l'augmentation de la fréquence des repas), de la température (plus elle est élevée, plus l'intervalle de temps entre la prise de nourriture et le sommet du pic d'excrétion est faible et plus le niveau de ce point haut est important), de la taille des poissons et de l'acclimatation de l'animal (taux d'excrétion stabilisé après 10 jours environ). D'autres paramètres comme le stress, la durée de la photopériode, la saison de maturation sexuelle, les périodes de croissance ou les effets des hormones peuvent également influencer ces cinétiques (Dosdat, 1992b).

1.3. Techniques d'élevage

Être pisciculteur est un métier difficile et exigeant, car l'éleveur est entièrement tributaire de la qualité de l'eau qui peut varier à tout instant, et qui doit être gérée au mieux en continu. Mais la pisciculture est aussi une filière valorisante et emblématique car son exigence en terme de qualité de l'eau fait d'elle une sentinelle de la qualité du milieu.

L'élevage des poissons peut se pratiquer selon différents modes : extensif, semi-extensif ou intensif.

Ces méthodes différent entre elles par la différente dérivation énergétique de leur régime nutritionnel et sur cette base, on pourra dire qu'un élevage est extensif lorsque le milieu ambiant pourvoit à la totalité des besoins alimentaires ; intensif au contraire lorsque les besoins alimentaires sont intégralement satisfaits de l'extérieur ; semi-intensif s'il fait appel au milieu, mais avec également une intégration alimentaire de provenance extérieure (Ravagnan, 1978).

1.3.1. Production Mondiale en élevage de la truite arc-en-ciel

La production de la truite arc-en-ciel a augmenté d'une manière exponentielle depuis 1950 spécialement en Europe et plus récemment au Chili. Ceci est dû premièrement à l'augmentation de la production dans les zones intérieures dans certains pays comme la France, l'Italie, le Danemark, l'Allemagne et l'Espagne pour approvisionner les marchés locaux. La mariculture en cages au Norvège et au Chili est orientée vers le marché de l'export.

Le Chili est actuellement le plus grand producteur de la truite arc-en-ciel. La Norvège, la France, l'Italie, l'Espagne, les USA, l'Allemagne et la Grande Bretagne sont aussi des principaux producteurs.

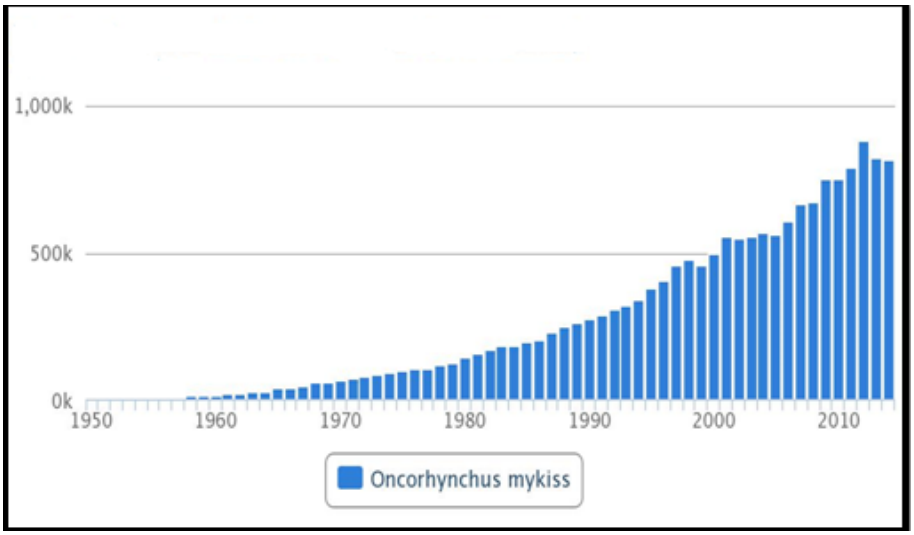


Figure 11 : Production mondiale de l'aquaculture (tonnes) FAO (2012).

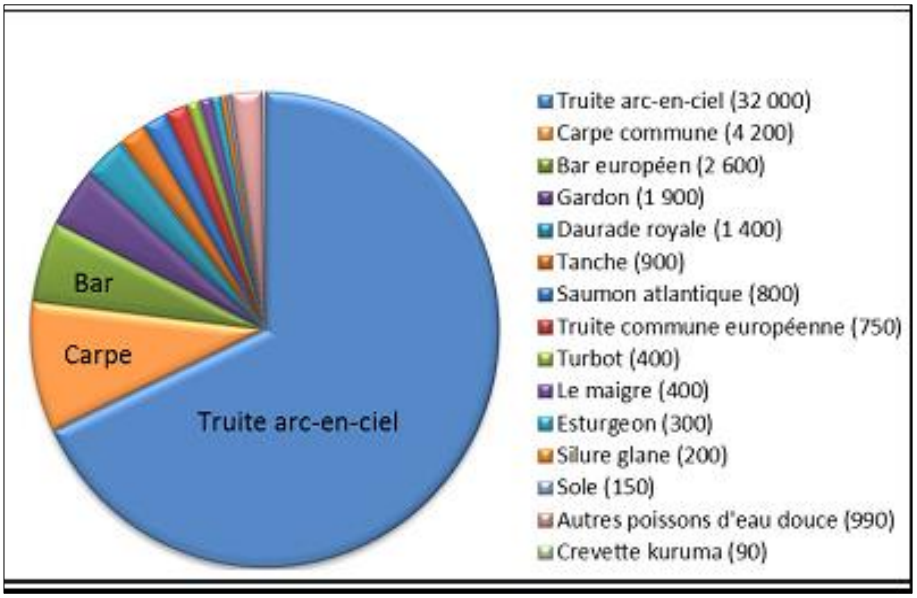


Figure 12 : Production française (en tonnes) par espèces (hors plantes et mollusques) en 2010 (FAO, 2012).

1.3.2. Problèmes et contraintes majeurs de l'élevage de la truite arc-en-ciel

La déviation d'un cours naturel ou d'une rivière pour utiliser l'eau en élevage, l'altération potentielle de sa composition physico-chimique et de la structure des espèces naturelles sont les principaux impacts des fermes de truites sur l'environnement.

Les truites échappées des fermes peuvent avoir un impact potentiellement négatif en déplaçant les espèces endémiques et en exhibant un comportement agressif qui peut conduire à l'altération des structures des populations des poissons.

Les impacts des systèmes à flux ouvert proviennent en grande partie des traitements chimiques, des maladies, de l'aliment non consommé et des excréments de poissons qui

peuvent altérer la composition chimique de l'eau et du sédiment au niveau des cours d'eau à l'aval de la ferme.

En effet, des concentrations élevées en sels nutritifs réduisent la qualité de l'eau (en augmentant la demande biochimique en oxygène, en réduisant l'oxygène dissous et en augmentant la turbidité) et favorisent la croissance des algues et des macrophytes.

Les restrictions de rendement obligent les fermes de truites à avoir des bassins de décantation pour éliminer les déchets solides, quoique le phosphore soluble dans les effluents ne peut pas être éliminé facilement.Pour résoudre ce problème, une réduction du phosphore dans l'aliment est nécessaire. Il y a aussi des problèmes avec la transmission des maladies du stock cultivé aux populations naturelles qui sont vulnérables (FAO, 2009).

1.3.3. Charge

La charge est l'expression du stock mis en place, en fonction du débit en $Kg/m^3/h$ généralement une augmentation de la charge dans les bassins peut provoquer une dégradation du milieu d'élevage et entrainer une augmentation de l'indice de consommation (IC). Cet effet de charge n'est pas totalement compensé par un maintien du taux d'oxygène à des valeurs suffisantes pour l'élevage (Sampietro, 1997).

Selon Fivelstad et Binde (1994) une augmentation de la charge de 31 à 56 $kg/m^3/h$ à taux d'oxygène constant provoque une augmentation de 38 % des rejets en NH^+_4.

1.3.4. Densité d'élevage

La notion de bien-être animal est une notion nouvelle mais difficile à définir, tant elle concerne des aspects différents des pratiques d'élevage : la gestion du stress, l'oxygénation, la manipulation des poissons, la densité d'élevage, etc. La densité d'élevage constitue l'un des sujets les plus discutés lors des négociations pour l'application des directives communautaires relatives au bien-être des animaux (Guyennet, 2000).

Cette densité d'élevage, exprimée en kg/m^3, renseigne sur la quantité de poissons par unité de volume de bassin. C'est un bon indicateur du degré d'intensification des élevages.

Les densités rencontrées dans les sites salmonicoles sont très variables. Elles dépendent à la fois de la teneur en oxygène dissous et de l'espèce d'élevage, certaines nécessitant plus d'espace que d'autres. Pour la truite arc-en ciel, la densité moyenne se situe entre 25 et 30 kg/m^3 de bassin (Guyennet, 2000).

Makinen et Ruohonen (1990) ont montré qu'une diminution de la croissance avec une augmentation de la densité sont les premiers effets qui apparaissent à partir de $50kg/m^3$. Cette conséquence persiste même quand le taux d'oxygène à la sortie de la ferme piscicole est

maintenu à 7mg/l. Ces auteurs ajoutent que l'écart de croissance entre les faibles et fortes densités est réduit lorsque la fréquence des repas est élevée.

Backer et ayles (1990) ont montré une relation linéaire entre l'augmentation des rejets ammoniacaux et la densité d'élevage chez la truite.

1.3.5. Eau d'élevage

Le renouvellement de l'eau d'élevage à pour buts :

- Apporter l'oxygène nécessaire à la vie des poissons,
- Éliminer les matières toxiques dissoutes provenant essentiellement des déchets d'aliments et des produits d'excrétion d'animaux.
- La quantité d'eau nécessaire varie donc en fonction de :
- La quantité et la taille des poissons,
- La température.

Les salmonidés sont traditionnellement produits en circuit ouvert. L'eau est généralement utilisée 1 fois avant le rejet dans le milieu naturel, ce qui conduit à des quantités d'eau utilisées par kg de poisson produit variant autour de 100 à 200 m^3 (Jimenez del Rio et al., 1996 ; Lemarié et al., 1998). Cette eau n'est pas consommée puisqu'elle est restituée en intégralité au milieu naturel.

1.3.6. Pratiques de l'alimentation

Trois types d'aliments sont utilisés dans l'élevage :

- Aliments naturels,
- Compléments des aliments,
- Aliments complets.

a. Aliments naturels

Sont présents naturellement dans les étangs (Tab. 4). Ils se composent généralement d'un mélange complexe de végétaux et d'animaux et ils peuvent être microscopiques ou plus grands, vivants ou morts (détritus, bactéries, plancton, vers, Insectes, mollusques, plantes aquatiques et poissons) (Luquet, 1971).

Tableau 4 : Aliment naturel de différentes espèces de poisson.

	Espèce de poisson		Aliments naturels									
		Détruit de fond	Faune benthique	Couverture biologiques	Algues	Phytoplancton	Zooplancton	Madrophytes	Fruits /graines	Insectes	Mollusques	Poisson
Herbivores	Tilapis rendali			+				++				
	Carpe argenté	+				++	+	++ Déc				
Omnivores	Tilapia de nil	+	+	+		++	++	++		+		
	Carpe commune	++	++	+		+	+	Déc				
Carnivores	Calarias	+	++				+		+	++	+	++
	Truite arc en ciel									++	+	++

+++ : Par ordre d'importance.

Déc : Produits de décomposition.

b. Compléments des aliments

Ce sont des aliments distribués de façon régulière aux poissons comme complément à l'aliment naturel lorsque les aliments présents naturellement ne suffisent plus pour un élevage d'un plus grand nombre de poissons.

Selon Djamel (1989), les types de substances pouvant constitués des compléments d'aliments pour les poissons sont :

- Les végétaux terrestres : herbacés, fruits, légumes ;
- Les végétaux aquatiques : jacinthe, laitue, lentille d'eau ;
- Les petits animaux terrestres : vers de terres, termites, escargots. ;
- Les petits animaux aquatiques : vers, têtards, poissons.

c. Aliments complets

Sont aussi distribués de façon régulière et se composent d'un mélange d'ingrédients soigneusement choisis, destinés à fournir tous les éléments nutritifs nécessaires à une bonne croissance des poissons. Les aliments complets se divisent en deux formes :

d. Aliments secs

Tels que les céréales et tourteaux, ils sont faciles à distribuer aux poissons à environ 10% d'humidité (humidité standard de l'aliment artificiel). Cet aliment présente l'avantage d'être conserver jusqu'à une période de 6 mois (Usui 1979).

e. Aliment humide

Tel que le sang, bien qu'il est interdit.

Le tableau 5 ci dessous met en évidence la taille des particules alimentaires selon le poids des poissons chez trois espèces citée (Tilapia, Carpe commune, truite arc en ciel). La taille de la particule alimentaire augmente avec le poids du poisson (Usui, 1979).

Tableau 5 : Taille de l'aliment selon le poids des poissons

Poids du poisson (g)	Aliment pour truite arc-en-ciel (mm)	Aliment pour tilapia (mm)	Aliment pour carpe commune (mm)
Moins de 0,5	0,3-0,5	0,5-1	0,05-0,2
0,5-1,5	0,5-0,9	1-1,5	0,6-1
1,5-20	1-3	1,5	1-3
20-100	3,2-4,4	2	3-3,4
100-250	4,4 -6	3	3,4
250-500	6 -7	4	4
Plus de 500	7		

1.4. Besoins de la truite arc-en-ciel en nutriments

a. Protéines

Les aliments naturels ingérés par les poissons contiennent des concentrations élevées de substances protéiques. Les aliments artificiels distribués pour les poissons carnivores sont également composés de façon à apporter an moins 40% des protides bruts. Les besoins en protéines des poissons sont donc particulièrement élevés si on les compare avec ceux des autres espèces monogastriques présentant un intérêt zootechnique (poulets) (Arnould, 1979).

Luquet (1975) attire l'attention sur le fait que de hautes doses de protéines dans l'alimentation de la truite peuvent constituer un véritable gaspillage, Il faut considérer que sur 100 g de protéines données à une truite, 10 à 15 g sont éliminés à travers les excréments, 30 à 40 g à travers les branchies et les urines sous forme d'ammoniaque.

Normalement, au moins 50% des protéines d'un aliment pour poissons est d'origine animale présentant une bonne valeur biologique. La valeur biologique d'une protéine est représentée par le rapport en pourcentage entre l'azote retenu par l'organisme animal et l'azote effectivement absorbé.

La digestibilité des aliments protéiques pour les poissons est influencée par de nombreux facteurs propres au poisson ou à l'alimentation (espèce, âge, température de l'eau, niveau

d'ingestion, traitements effectués sur l'aliment, etc. En moyenne, la digestibilité est supérieure pour les protéines animales par rapport aux protéines végétales.

La valeur nutritive des protéines et surtout celles d'origine végétale, peut être sensiblement améliorée par des traitements thermomécaniques, comme l'agglomération, le flaconnage et l'extrusion.

Chez les poissons de haut niveau trophique (carnivores), ce sont les protéines et les lipides alimentaires qui leur permettent de couvrir leurs besoins énergétiques en raison des capacités limitées à utiliser efficacement l'énergie des glucides alimentaires (Médale et Guillaume, 1999).

En condition d'élevage, les protéines doivent représenter 38 à 44 % de la ration pour les salmonidés durant la phase de croissance et 40 à 55 % pour les poissons marins contre 28 à 38 % pour les poissons de plus faible niveau trophique comme la carpe et le tilapia qui sont plus efficaces pour produire de l'énergie à partir des glucides alimentaires Médale et *al*. (2013) (Tabl. 6).

Tableau 6 : Quantité (% de la ration) de protéines recommandées dans l'aliment de différentes espèces de poisson d'élevage en fonction de leur poids

Espéces	<20g	20-200g	200-600g	600-1500g	>1500g
Truite arc-en-ciel	48	40	38	38	36
Saumon atlantique	48	44	40	38	34
Bar	55	50	45	45	-
Daurade	50	45	40	40	-
Carpe	45	38	32	28	28
Tilapia	40	34	30	28	26

Le rapport protéines digestibles sur énergie digestible (PD /ED) de la ration est un élément essentiel, il doit être plus élevé chez les jeunes, qui dépensent beaucoup d'énergie pour leur croissance que chez l'adulte. Le taux de protéines sera donc plus élevés dans un aliment pour alevins (45-50%) que dans un aliment de grossissement (41-42 %) (NRC, 1999) avec un taux de lipides inférieur par rapport à un aliment en de phase de grossissement, l'évolution se fera progressivement au moment du changement de granulométrie, les protéines diminuant et les lipides augmentant en évolution du rapport PD /ED au cours de la croissance.

b. Acides aminées

Les sources protéiques doivent apporter les 10 acides aminés indispensables (AAI) aux poissons, qui sont les mêmes que pour les autres animaux. Cependant, l'arginine est un AAI chez les poissons alors que chez les animaux uréotéliques, elle peut être en partie fournie par le cycle de l'urée. On distingue aussi chez les poissons deux acides aminés semi

indispensables, qui ne peuvent être synthétisés qu'à partir d'AAI : la cystéine et la tyrosine qui dérivent respectivement du couple sérine méthionine et de la phénylalanine (Burel et Médale, 2014).

Les acides aminés dont la synthèse est lente sont parfois eux aussi qualifiés de semi-indispensables. Chez certaines espèces de poissons, la proline et la glutamine peuvent présenter ce caractère. L'ensemble des besoins en AAI n'a été déterminé que pour peu d'espèces de poissons bien que ce sujet ait fait l'objet d'un très grand nombre de travaux de recherche (Burel et Médale, 2014). Ces études ont utilisé des méthodologies très diverses, ce qui peut expliquer une certaine variabilité dans les résultats (Tabl. 6). Si les besoins en protéines totales des poissons présentent de grandes variations d'une espèce à l'autre, surtout si on compare les poissons carnivores aux omnivores. En revanche, les besoins quantitatifs en acides aminés exprimés en pourcent de la matière azotée totale, sont assez similaires d'une espèce à l'autre Green et *al*. (2002).

La principale différence concerne l'arginine qui est moins « indispensable » chez les quelques espèces de poissons dont le cycle de l'urée est réellement actif. Les besoins en AAI, ainsi exprimés, sont hautement corrélés à la concentration en acides aminés des protéines des carcasses entières des poissons (Burel et Médale, 2014).

Tableau 7 : Besoin en acides aminés essentiels (% matière azotée totale) de différentes espèces de poissons d'élevage

AAI	Truite arc-en-ciel	Saumon atlantique	Bar	Daurade	Carpe	Tilapia
ARG	3,5–4,2	4,1-4,8	3,9	7,7-8,1	4,3	4,2-4,2
HIS	1,0-1,2	Nd	ND	ND	2,1	1,7
ILE	1,5-2,8	Nd	ND	ND	2,5	3,1
LEU	2,3-9,2*	ND	ND	ND	3,3	3,4
LYS	3,0-8,4*	4,0-5,0	4,4	8,6	5,7	5,1-5,7
MET	0,7-1,9	1,7	1,8-1,9	ND	2,0	2,1-2,8
PHE	2,0	ND	ND	ND	3,3	3,8
THR	2,6	2,6	2,3-2,6	ND	3,9	3,8
TRP	0,3-0,9	ND	ND	ND	0,8	1,0
VAL	1,7-3,4	ND	ND	ND	3,6	2,8

c. Lipides

Les lipides sont des corps gras constitués principalement d'acides gras (AG) estérifiés au glycérol. Les classes de lipides les plus importantes en nutrition animale sont les triglycérols ou triglycérides (lipides apolaires) et les phospholipides.

Contrairement aux animaux terrestres, les lipides d'origine aquatique contiennent une proportion importante d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne de la série des oméga 3. Cette prédominance, encore plus importante en milieu marin, est due à la forte concentration

d'acides gras polyinsaturés (n-3) dans le phytoplancton (Sargent et al., 1989). La composition en acides gras étant le reflet de celle des lipides alimentaires (Reinitz et Yu, 1981 ; Watanabe, 1982 ; Henderson et Tocher, 1987). Comme les poissons se situent à niveau trophique élevé, la composition en acides gras des lipides neutres des poissons reflète bien cette particularité.

La composition des phospholipides reste à peu près constante et se caractérise par une proportion d'acides gras n-3 à longue chaîne très élevée (Henderson et Tocher, 1987).

L'apport des lipides dans l'alimentation est indispensable car ils sont vecteurs des acides gras essentiels, des vitamines liposolubles comme les vitamines A, D, E et K. Les lipides sont une source énergétique non négligeable et assurent le transport des pigments caroténoïdes (Sargent et al.,1989).

Parmi les macronutriments, les lipides constituent la source énergétique la plus efficace. En effet, les lipides apportent 39,5 kJ d'énergie pour 1g de lipides alors que 1g de protéines n'apporte que 23,7kJ d'énergie et 1g de glucides apporte 17,2 kJ d'énergie (NRC, 1993). Leur rôle dans la fourniture d'énergie est d'autant plus important qu'un grand nombre de poissons (en particulier les carnivores) qu'ont une faible capacité à digérer les glucides (Adron et al., 1976 ; Wilson, 1994).

Le rôle d'épargne des protéines par les lipides dans l'alimentation a été étudié chez de nombreuses espèces afin de déterminer la teneur en lipides optimale dans l'aliment et d'estimer le rapport idéal en protéines digestibles sur l'énergie digestible (PD/ED) (NRC, 1993).

Chez la truite arc-en-ciel, une augmentation des lipides alimentaires améliore la croissance et l'utilisation alimentaire. Lee et Putnam (1973) et Takeuchi et *al*. (1978) ont montré, chez la truite arc-en-ciel, que le taux de protéines dans l'aliment pouvait être réduit de 48% à 35% sans affecter les performances de croissance si le taux de lipides augmentait de 15 à 20% et que l'efficacité alimentaire et la rétention des protéines étaient améliorées. Une augmentation de 12 à 24% des lipides alimentaires entraîne une amélioration de la croissance et de l'efficacité alimentaire (Beamish et Medland, 1986). De même,Kim et *al*. (1988) ont montré qu'un régime contenant 38 % de protéines et 21 % de lipides permet d'épargner les protéines sans affecter la qualité de la chair de la truite arc-en-ciel. Chez les poissons marins, ce phénomène d'épargne des protéines par les lipides est aussi démontré chez le bar (Alliot et *al*., 1979 ; Dias et *al*., 1998), chez la daurade (Vergara et *al*., 1996 ; Santinha et *al*., 1999) et chez la sériole (Shimeno et *al*., 1980).

L'optimisation de la teneur en lipides dans les aliments permet de limiter l'augmentation des dépôts lipidiques du poisson. L'utilisation d'aliments dits "haute énergie" nécessite une

gestion de l'alimentation, en particulier les notions de rationnement et du rapport PD/ED sont très importantes. Par exemple, chez les salmonidés, le rapport optimal PD/ED est de l'ordre de 17-18 mg/kJ (Kaushik, 1997), rapport considérablement plus faible que celui des recommandations antérieures qui font de l'ordre de 22-24 mg/kJ (Cowey, 1992). L'utilisation des lipides, comme source énergétique, en remplacement partiel des protéines a pour conséquence une diminution des rejets azotés et des déchets dus aux pertes fécales dans l'environnement (Beamish et Thomas, 1984 ; Johnsen et Wandsvik, 1991; Santinha et *al*., 1999).

d. Glucides

La truite arc-en-ciel n'a pas besoin de glucides dans son régime alimentaire et peut se développer de façon satisfaisante quand son alimentation en manque. Certains glucides sont cependant indispensables dans l'alimentation pratique quand on a recours à des ingrédients alimentaires conventionnels. Ils sont aussi bénéfiques aux poissons comme le montrent les meilleurs taux de conversion alimentaires obtenus quand le régime contient des glucides.

La truite arc-en-ciel ne supporte cependant pas des niveaux élevés de glucides dans son alimentation au-delà d'une certaine période. Un taux supérieur à 30% de glucides dans le régime suffit pour provoquer des glycogénoses hépatiques ou musculaires et entraîner des changements métaboliques qui indiquent un stress métabolique (ANR, 2003).

Ces glucides deviennent évident quand les poissons sont ainsi nourris pendant une longue période. Selon la littérature, le niveau optimal des glucides pour la truite arc-en-cielest compris entre 15 et 17 % du régime alimentaire (Stone, 2003). Comme c'est le cas pour la plupart des espèces de poissons carnivores, les glucides simples (glucose, dextrose) sont plus disponibles que les glucides complexes.

La truite arc-en-ciel n'assimile pratiquement pas l'amidon brut alors qu'elle digère très bien l'amidon cuit. Elle assimile aussi totalement les polysaccharides non solubles (Stone, 2003).

La cuisson de l'amidon permet de le transformer en sucres beaucoup plus digestes, en particulier le glucose, c'est l'un des intérêts de la cuisson-extrusion pour les aliments truite, par contre le turbot digère bien l'amidon cru, le pois peut alors remplacer en partie les farines de poissons (Kaushik, 2000).

e. Énergies

Énergie Brute : Taux de protéines de l'aliment*énergie brute de protéines en kj (=23,7 Kj)

L'énergie brute (EB) d'un aliment est l'énergie totale qu'il contient. Elle dépend uniquement de sa composition en lipides, en protéines et en glucides et peut être calculée par addition des quantités d'EB apportées par chacun des ingrédients.

L'énergie digestible (ED) correspond à l'EB ingérée diminuée de l'EB des fèces. Il en est de même pour la protéine digestible (PD).

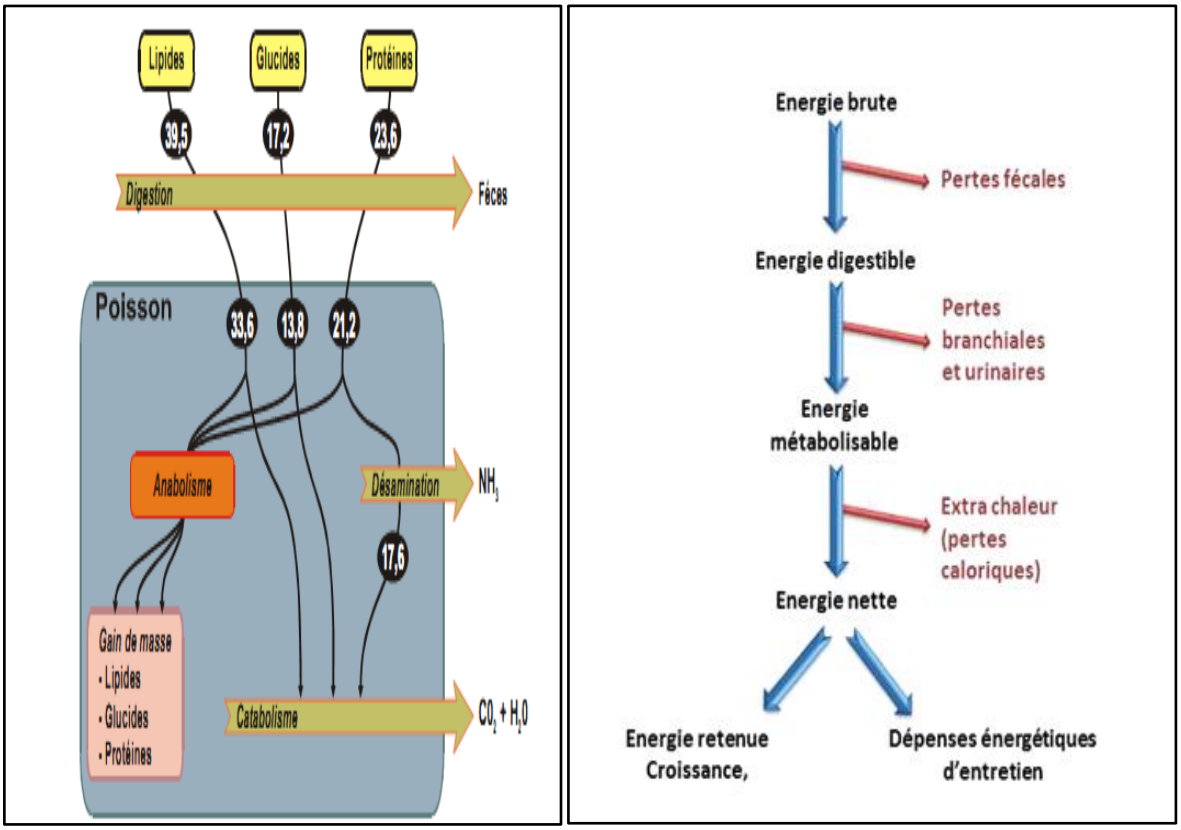
L'ED étant constante, le rapport PD/ED prend toute son importance, trois exemples de situations chez la truite (NRC, 1993) :

- Au dessus de 30 $g.MJ^{-1}$, la truite brûle une grande partie des protéines pour obtenir de l'énergie. Le produit de dégradation des protéines est l'ammoniaque.
- En passant de 25 à 15 $g.MJ^{-1}$, nous avons un phénomène d'épargne protéique c'est la situation optimale.
- Sous 15 $g.MJ^{-1}$de PD/ED, la truite n'a pas assez de protéines pour assurer sa croissance et son entretien.

L'énergie digestible pour 1Kg de gain de poids pour la truite arc-en-cielest de 17 à 19 MJ/Kg.

La régulation de l'ingéré se fait en fonction de l'ED. La truite ajuste donc sa consommation de sorte que ses besoins énergétiques soient couverts. Ainsi, plus l'ED d'un aliment est élevée, plus la conversion alimentaire est meilleure.

Figure 13 : Modèle d'utilisation de différentes sources énergétiques alimentaires par le poisson (Cho et Kaushik, 1985)



f. Vitamines

L'élevage de la truite arc-en-ciel est surtout intensif et aucune nourriture d'origine naturelle n'est disponible dans les systèmes d'élevage à circuit ouvert. Dès lors, tous les nutriments essentiels, y compris les vitamines, doivent être fournis par l'alimentation.

La truite arc-en-ciel a besoin de 15 vitamines (NRC, 1993). On ne connaît cependant pas précisément la quantité nécessaire de chacune.

Les besoins en vitamines A et D liposolubles ont été établis à partir par (Bell et Cowey (1985)qui prenaient en compte les performances de croissance de l'espèce (taux de croissance, taux de survie, etc).

Les besoins en vitamines E dépendent du niveau de lipides dans le régime alimentaire et de leur degré d'oxydation (Bell et Cowey, 1985). L'acide ascorbique a pour caractéristique de répondre à plusieurs exigences en termes de croissance maximale, de stockage maximal dans les tissus et de résistance maximale aux maladies (Halver, 2002). Il est donc difficile d'établir les besoins vitaminiques dans le régime alimentaire si on ne dispose pas de variables qui permettent de mesurer précisément les effets des vitamines sur le métabolisme et sur la santé des poissons.

g. Minéraux et oligoéléments

Les matières minérales, dont les oligo-éléments, représentant 8 à 12% de la ration. Elles sont apportées par les matières premières utilisées dans la formulation de l'aliment et complétées pour éviter toute carence, par un prémix minéral (1 à 2 % de la ration) (NRC, 1993).

La qualité des matières premières est à connaitre, en particulier les farines de poissons, riche en phosphore peu assimilable dans les arrêts, responsable des taux élevés en phosphore dans les rejets de pisciculture. Mais le phosphore est indispensable au fonctionnement du système nerveux et des fonctions cérébrales.

Les besoins sont largement couverts par les matières premières utilisées dans la formulation (NRC, 1993) :

- Calcium : indispensable pour les contractions musculaires, l'influx nerveux, la formation du squelette et la régulation osmotique.
- Phosphore : est un élément essentiel pour tout organisme vivant. Tout comme le calcium, le phosphore est directement utilisé dans le développement et l'entretien du système squelettique, il intervient dans des réactions biochimiques et permet l'utilisation du glucose.

Ces minéraux participent à plusieurs processus physiologiques incluant le développement, la croissance et la reproduction (NRC, 1993).

Le phosphore est donc retrouvé dans l'ensemble de l'organisme. Il est la seconde composante après le calcium, la plus abondante dans les tissus des poissons osseux. Chez ces poissons, les os contiennent de 86 à 89 % du phosphore total de l'organisme (Ouellet, 1999). Ce phosphore se retrouve sous forme de phosphate de calcium et d'hydroxyapatite (Lall, 1991).

Plusieurs recherches ont investigué les besoins en phosphore des truites arc-en-ciel de petite taille, soit de moins de 10 dix grammes (NRC, 1993). Toutefois, les besoins en nutriments de la plupart des animaux décroit généralement lorsqu'ils deviennent plus âgés ou plus gros (Sugiura et *al.*, 2000). Les besoins spécifiques en phosphore des truites arc-en-ciel de grande taille sont peu connus.

D'un point de vue environnemental, il serait avantageux de chercher à mieux déterminer les besoins en phosphore des poissons de plus grande taille, c'est-à-dire de taille commerciale, puisque ceux-ci consomment plus de 90 % des aliments utilisés dans un cycle de production (Sugiura et *al*., 2000).

Certains auteurs ont tenté de déterminer les besoins en phosphore. Ils attestent que pour la truite arc-en-ciel, les besoins varient entre 0,5 et 0,9 % en phosphore total (Kaushik, 2005 ; NRC, 1993) et de 0,4 à 0,7 % en phosphore disponible (Kaushik, 2005 ; Hardy, 2002). Chez les individus de plus grande taille, les besoins ont été évalués à 0,60 %, 0,30 % et 0,15 % en phosphore pour des poissons de 200 g, 300 g, et 400 g respectivement (Lellis et *al*., 2004).

- Sodium et magnésium : sont présents dans les matières premières utilisées, comme les farines de poissons en particulier, le sodium intervient dans la régulation osmotique au niveau des cellules des branchies (NaK) ATPase.
- Potassium : intervient dans la régulation osmotique comme le sodium et le calcium.

1.5. Qualité du produit fini (Truite arc-en-ciel grossit).

Dans la de la truiet arc en ciel, l'eau, les protéines et les lipides sont des constituants représentent environ 98% de la composition globale chez la plupart des poissons et des crustacés , et les autres constituants mineurs comprennent les glucides, les vitamines et les minéraux (Sikorski et *al*., 1990). Cependant, la composition chimique du poisson varie généralement selon les saisons, les zones géographiques, les stades de maturité et la taille de poisson, la composition biochimique du poisson qui lui donne une qualité nutritionnelle et sensorielle que recherchent et apprécient les consommateurs.

a. Lipides

Les lipides de la truite arc-en-cielse distinguent des lipides d'autres animaux ou de végétaux par leur forte teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI) de la série des oméga 3, notamment les acides Eicosapentaenoique (EPA) et Dococsahexaenoique (DHA). Ces acides gras possèdent des propriétés nutritionnelles recherchées et sont impliqués dans la prévention des maladies cardiovasculaires, cancéreuses et inflammatoires (Rose et Connollt, 1999).

b. Sites des dépôts lipidiques

Chez la truite arc-en-ciel, il existe plusieurs sites de dépôts lipidiques dont les principaux sont le foie, le muscle, le tissu adipeux périviscéral et le tissu adipeux sous cutané (Sheridan, 1988). Cette répartition peut varier selon les espèces. La composition en lipides étant un critère pratique de distinction des poissons.

c. Qualité de la chair

La qualité de la chair se définit comme l'ensemble des caractéristiques morphologiques, histologiques, biochimiques et rhéologiques qui définissent les propriétés organoleptiques

(texture, flaveur, couleur) et nutritionnelles du produit perçu par le consommateur (Kolditz, 2008).

La qualité des poissons d'élevage recouvre à la fois les qualités nutritionnelles et organoleptiques de la chair, ainsi que l'aptitude à la transformation (notamment les notions de rendements à l'éviscération, au filetage, à la cuisson ou au fumage des filets).

d. Qualités nutritionnelles

Les qualités nutritionnelles ou diététiques sont principalement liées à la composition de la chair. Les lipides de la chair de poisson constituent une source naturellement importante en AGPI n-3, qui sont des acides gras essentiels pour l'homme. De nombreuses études ont démontré que les AGPI n-3 exerçaient un effet bénéfique pour la santé humaine, en contribuant notamment à diminuer le risque de maladies cardio-vasculaires grâce à leur effet hypolipémiant et hypocholesterolémiant (Kelly, 1991). Il est donc important pour la santé publique de préserver cette particularité, tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

e. Qualités organoleptiques

La quantité et la nature des lipides de la chair du poisson conditionnent la flaveur du produit, notamment l'intensité du goût et de l'odeur (Lindsay, 1990 ; Josephson, 1991). Les AGPI de la chair sont très sensibles aux phénomènes d'oxydations enzymatiques initiés par des lipoxygénases et de péroxydation (oxydation chimique des lipides). Cette oxydation des AGPI favorise le développement d'une saveur rance. Les composés volatiles dérivant de l'oxydation enzymatique ou chimique des AGPI influent fortement sur l'odeur de la chair en lui donnant des composantes végétales ou métalliques plus ou moins prononcées en fonction de leur nature. La quantité et la nature des lipides déposés dans la chair déterminent aussi la couleur des filets, en influant sur la quantité et la localisation des pigments, composés liposolubles, qui vont venir se fixer dans les fibres musculaires (Choubert et Storebakken, 1989).

f. Effet de l'aliment sur le produit fini

De nombreuses études ont montré que la composition corporelle du poisson pouvait être modifiée par l'alimentation, notamment par la composition du régime alimentaire et son contenu énergétique (Shearer et *al.*, 1997 ; Jobling et *al.*, 1998 ; Johansson et *al.*, 2000 ; Médale et *al.*, 2003). Bien que ce soit la teneur en énergie digestible de l'aliment qui conditionne les dépôts lipidiques, il existe une relation étroite entre teneur en lipides de l'aliment et teneur en lipides corporels (Cowey, 1993).

Chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) nourrie avec des régimes isoprotéiques avec des teneurs en lipides différentes (allant de 5% à 20% de lipides), un accroissement important des dépôts lipidiques péri-viscéraux, un accroissement modéré de la teneur en lipides du muscle, mais pas de variation significative de la teneur en lipides du foie (Takeuchi et al., 1978 ; Corraze et Kaushik, 1999). Des résultats similaires ont été rapportés par Hillestad et Johnsen (1994) et Hillestad et *al*. (1998), chez le saumon Atlantique (*Salmo salar*). Chez les poissons marins, comme le bar (*Dicentrachus labrax*) ou la morue (*Gadus morhua*), ce sont surtout les lipides du foie qui augmentent en réponse à un régime riche en lipides, les teneurs en lipides du muscle et des viscères n'étant pas modifiées de façon significative (Dias et al. 1998 ; Nanton et *al.*, 2001).

De façon générale, la nature des lipides alimentaires n'influe pas sur la quantité de lipides corporels du poisson, mais affecte en revanche la composition de leurs acides gras (Arzel et al., 1994). La composition en acides gras du muscle du poisson reflète en effet la composition en acides gras de l'aliment (Watanabe, 1982 ; Henderson and Tocher, 1987).

Une période de jeûne avant abattage est une pratique parfois employée dans la production de certaines espèces comme le saumon atlantique, nourries avec des aliments très riches en lipides, dans le but de stimuler la mobilisation des lipides de la chair et d'améliorer les rendements en carcasse après éviscération des poissons (Einen and Skrede, 1998). En effet, lors d'une période de jeûne, le poisson puise son énergie en premier lieu dans ses réserves de glycogène, qui sont faibles, puis dans ses réserves lipidiques, et enfin protéiques (Jobling, 1980 ; Hemre et *al*., 1993). La diminution des réserves lipidiques résulte principalement d'une mobilisation des triglycérides au niveau des sites préférentiels de stockage de l'espèce (Takeuchi et Watanabe, 1982). En revanche, le jeûne prolongé, s'il permet de réduire la quantité de lipides du muscle, entraîne aussi une perte de poids et une diminution du rendement en filet (Regost et *al.*, 2001 ; Rasmussen, 2001). En outre, cette pratique va à l'encontre des efforts visant à limiter le stress des animaux en élevage et à des conséquences notables sur le métabolisme post-mortem et les qualités organoleptiques du produit (Einen and Skrede, 1998).

1.6. Production d'un aliment écologique

Un aliment est une substance solide ou liquide, normalement ingérée par les êtres vivants pour satisfaire leurs besoins nutritionnels et psychologiques. Il comprend des macronutriments tels que des glucides, des protéines et des lipides nécessaires en plus grande

proportions et principaux fournisseurs de l'énergie métabolique et des micronutriments tels que des vitamines et des minéraux (AAFCO, 2000).

Un aliment écologique est un aliment qui répond aux exigences de l'espèce, couvre tous les besoins nutritionnels et répond aux exigences et normes environnementaux.

Afin de formuler un aliment écologique, plusieurs approches sont disponibles (Lareau, 2004)

- Utiliser des ingrédients nutritifs de qualité;
- Choisir des ingrédients avec un taux de phosphore faible;
- Utiliser des diètes à haute énergie;
- Formuler des diètes à bas niveaux de farine de poisson.

1.7.Formulation de l'aliment de la truite arc-en-ciel

1.7.1. Formulation de régimes de bonne qualité et formes des aliments

Des travaux sur l'amélioration de la qualité des aliments ont été réalisés et des recherches sur la question continuent d'être menées. Ils visent la formulation de régime dont la qualité permettrait d'avoir de bonnes performances de croissance et de conversion alimentaire et dont la totalité ou le maximum de phosphore serait assimilé par les poissons pour leurs besoins biologiques. Ceci contribuerait à réduire, voire supprimer, toutes les formes (particulaires et solubles) de rejets (MAPAQ, 1996 ; Cho et Bureau, 2001).

En effet, Azevedo et *al*. (1998) travaillant sur la truite arc-en-ciel, ont démontré que l'augmentation de la digestibilité de la matière sèche s'accompagne d'une diminution significative des rejets solides totaux. Ces auteurs ont aussi démontré qu'une augmentation de la température (12-15°C) qui, en plus de favoriser l'augmentation de la consommation alimentaire, améliorait l'utilisation digestive des nutriments pour une meilleure croissance.

Cho et Bureau (2001) ont eux aussi insisté sur la digestibilité des différents nutriments comme le facteur essentiel de la bonne qualité des aliments. Aujourd'hui, il existe des programmes ou logiciels de formulation d'aliments qui prennent en compte, à la fois les objectifs nutritionnels, économiques et environnementaux. C'est le cas, par exemple, Fish-PrFEQ développé par le Ministère des ressources naturelles de l'Ontario Cho et Bureau (1991).

Ce logiciel est basé sur des modèles bioénergétiques et permet l'estimation et la prévision de la production, des rations et des rejets de nutriments (Cho et Bureau, 1998).

Outre la bonne qualité nutritionnelle des aliments, les travaux ont porté aussi sur l'amélioration des formes de présentation (farine ou granulés), de la densité et de la stabilité (flottant ou non) des aliments. La forme idéale de présentation des aliments serait les granulés flottants et stables dont les tailles varieraient avec celles des poissons (MAPAQ, 1996 ; Pagand, 1999). La taille de la particule alimentaire devrait correspondre à 20 - 30% de l'orifice buccal du poisson (Craig et Helfrich, 2002). Dans la pratique, les granulés de 3,5 et 8 mm de diamètre sont utilisés pour des poissons de 3 à 9g, 90 à 450g et 1500g et plus, respectivement (Hardy, 2002).

Figure 14 : Forme de l'aliment de la truite arc-en-ciel

Les portions d'aliments non consommés et donc celles des formes solides des rejets de nutriments dépendent de la forme et des quantités d'aliments distribuées aux poissons. Elles seraient généralement de l'ordre de 1 à 30%, mais en cas de distribution ad libitum elles pourraient atteindre 10-30% (Verdegem et *al.*, 1999). L'importance de ces formes de rejets dépend aussi du mode de nourrissage et suggèrent le fractionnement des rations comme moyen de la diminuer.

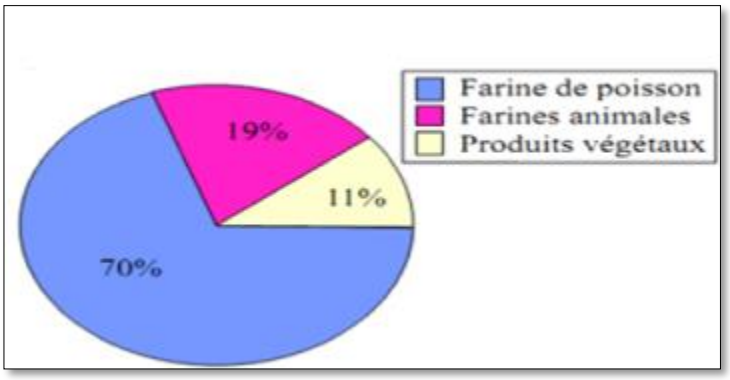


Figure 15 : Provenance du phosphore dans une diète typique

1.7.2. Matières premières d'origine animale

Le règlement du parlement européen et du conseil du 3 octobre 2002 (CE 1774/2002) stipule que les déchets de tous les poissons issus de l'aquaculture sont interdits pour l'alimentation des poissons d'élevage. Ainsi, sont utilisées les farines fabriquées à partir de poissons sauvages. Ces farines de poissons sauvages peuvent être fabriquées à partir de différentes origines : poissons invendus appartenant à des espèces non consommées, déchets d'ateliers de découpe, déchets de conserveries ou poissons entiers spécialement pêchés à cet usage et pour lesquels la demande des consommateurs est faible ou nulle.

a. Farine de poisson

La farine de poisson est la meilleure source protéique pour les aliments piscicoles en raison de sa teneur en protéines (60 à 75 %), composées en profil de teneurs en acides aminés non indispensables et acides aminés indispensables équilibré, de son profil en acides aminés indispensables qui couvre les besoins des poissons et de l'absence de facteurs antinutritionnels selon l'espèce et le procédé de fabrication.

Elle peut aussi contenir jusqu'à 12% d'huiles, riche en acides gras longs polyinsaturés (AGPI) de la série oméga 3, ainsi que des minéraux et des vitamines qui contribuent à couvrir les besoins des poissons.

La farine de poisson est un ingrédient essentiel dans le régime alimentaire de la truite-arc en-ciel, très riche en protéines (60 à 75% en poids) en particulier en acides aminés essentiels et en matières grasses (8% en moyenne). Elle aussi source d'acides gras polyinsaturés essentiels (précurseurs d'hormones et de facteurs métaboliques). Des farines de poissons à taux protéique élevé sont ajoutées dans l'alimentation animale en période de stress ou de reproduction (truites allaitantes) (Bernard et Alexis, 2010)

La farine de poisson est riche en vitamines B, en sels minéraux (Ca, P, Na, Mg, K) et en oligo-éléments (Fe, Zn, Cu, Mn, I, Se). Elle contient également des hormones de croissance.

Le taux de farine de poisson dans l'alimentation de la truite arc-en-cieldoit être de 25 à 38% (Hilton etSlinger, 1981).

1.7.3. Matières premières d'origine végétale

les protéines végétales peuvent provenir du tourteau de soja, de Gluten de Maïs et des céréales.

a. Tourteau de soja

Le tourteau de soja est le plus utilisé au regard de sa haute teneur en protéines, de son prix et de sa grande disponibilité. De plus, c'est le tourteau contenant le moins de cellulose et de glucides complexes. Il contient en moyenne 47,5% de protéines, 3,4% de fibres, 1,9% de matières grasses et enfin 6% de cendres (El-Shemy, 2011). Sa teneur est faible en méthionine et il contient plusieurs facteurs anti-trypsiques néanmoins sensibles à la chaleur.

L'utilisation du soja se heurte à d'autres problèmes, dont la limite de son niveau d'incorporation dans l'aliment. En effet, au-delà de 20 % dans l'aliment, le soja a un effet négatif sur la croissance des poissons et sur la consistance des fèces. La baisse de croissance est essentiellement due à la baisse de la consommation alimentaire et la faible consistance des fèces contribue à l'augmentation des rejets (Ogunkoya et *al.* 2005).

b. Gluten de Maïs(GM)

Le GM est une protéine amorphe inter-mélangée avec l'endosperme amylacé du grain, on le retrouve dans la plupart des céréales. Le GM est un sous-produit obtenu par séparation des farines et de l'amidon du grain de Maïs. Cet ingrédient est composé de plus de 60% de protéines et contient moins de 5% de lipides (Mente et *al*., 2003).

Le GM par sa coloration jaune représente une bonne source de pigments, aidant ainsi le jaune d'œuf à avoir une coloration jaune désirable (Cha et *al*., 2000). Son utilisation dans les aliments pour salmonidés a fait l'objet de nombreuses publications (Cho et *al*.,1982 ; Alexis et *al*., 1985 ; Moyano et *al*., 1992 ; Morales et *al*., 1994 ; Gomes et *al*., 1995 ; Hardy, 1996 ; Skonberg et *al*., 1998 ; Mente et *al*., 2003 ; Satoh et *al*., 2003 ; Hardy, 2003), Ces auteurs ont montré que la digestibilité du GM était de plus de 90% chez la truite arc-en-ciel.

c .Céréales

Les céréales contiennent entre 8 et 14% de protéines. Ce sont des sources d'énergie, de vitamines E et B. Le phosphore y est peu disponible car présent sous forme de phytates. Les farines de blé ou de maïs sont riches en amidon qui, une fois traité thermiquement, est plus digestible et un bon liant. L'utilisation de l'avoine est limitée en particulier à cause de la présence de ses glumelles.

Chez les poissons, la digestibilité des protéines est généralement haute (>90%) y compris celle des sources protéiques végétales (NRC, 2011). Elle peut être réduite, comme celle des lipides, par des facteurs antinutritionnelles (facteurs anti-protéasiques, trypsine, tannins, etc.) qui inhibent l'activité des enzymes digestives.

Des perturbations de l'absorption des acides aminés et du glucose ont aussi été décrites chez la truite et la daurade nourries avec des aliments dont la totalité de la farine de poisson était remplacée par des ingrédients végétaux (Santigosa et *al.*, 2011).

Le tableau 8 présente les propriétés des matières premières d'origine végétale utilisées dans l'alimentation des truites d'élevage.

Tableau 8 : Propriétés des matières premières d'origine végétale utilisées en salmoniculture (Bernard, 2010).

Matière première	**Principale propriétés**
Tourteau de colza	Équilibre, riche en cellulose
Huile végétales	Carencées en vitamines A et D, astaxanthine et AGPI-LC. Riches en acide linoléique et linolénique Peuvent modifier le profil en acides gras du poisson
Céréales (blé, maïs)	Contiennent entre 8 et 14% de céréales Sources d'énergie, vitamines E et B Riches en amidon
Protéagineux (pois, féverole)	Composition proche du soja (25 à45 % de protéines)
Farine d'algues	23 % de protéines Riche en amidon, cellulose et mannitol Bonne source de calcium

1.7.4. Facteurs anti-nutritionnels

Ces facteurs anti-nutritionnels (FAN) diminuent la digestibilité de l'aliment proposé. Ils ont plusieurs origines : polluants (pesticides et métaux lourds), amines biogènes issues des poissons de la pêche fourrage apparaissant lors de leur dégradation, mycotoxines accumulés lors du stockage ou du transport de la matière première d'origine végétale. Ils font parfois partie intégrante de la matière première et ne résulte pas d'un processus de contamination (Médale et Kaushik, 2009).

Les FAN présents dans les matières premières d'origine végétale sont :

- L'acide phytique qui piège les minéraux et diminue l'efficacité des enzymes digestives ;

- Les facteurs anti-trypsiques sont particulièrement présents dans le soja. Ils inhibent l'activité de la trypsine, de la chymotrypsine et de l'élastase, diminuant ainsi la digestibilité des protéines et sont sensibles à la chaleur (Burel et Médale, 2014).

- Les lectines, agglutinant les hématies et se fixant sur les membranes cellulaires des entérocytes dont elles diminuent les fonctions absorbantes. On en retrouve dans le soja. Les lectines du soja sont résistantes aux enzymes digestives et elles sont thermolabiles.

Les tannins, localisés dans les pellicules des graines. Ils altèrent l'absorption du fer via la formation de précipités insolubles de tannates de fer.

Les matières premières d'origine animale contiennent également certains des FAN.

Dans le poisson cru, existe la thiaminase, enzyme hydrolysant la thiamine. Elle est néanmoins détruite par la chaleur. L'ajout de thiamine dans la ration peut prévenir ce phénomène. Il existe également une amine biogène, l'histidine, dérivant de l'histamine, issue de la dégradation de la chair des poissons qui induit des réactions pseudo-allergiques. Les aldéhydes et les cétones issus de la peroxydation des AGPI provoquent des inhibitions enzymatiques et réduisent l'appétence des aliments.

Le tableau 9 ci-après présente les principaux FAN présents dans les produits végétaux utilisés en alimentation piscicole et leur méthode de réduction.

Tableau 9 : Principaux facteurs antinutritionnels présents dans les produits végétaux utilisés dans l'alimentation piscicole et leurs effets délétères (Médale et al., 2013)

FAN	Matièrespremières concernées	Effets délétères sur	Réduction par
Inhibiteurs de protéinases	Tourteau de soja, tourteau de colza, tourteau de tournesol, lupin, pois, blé, maïs	Digestion des protéines	Traitement thermique, micronisation, extrusion, agent réducteurs (sulfites,thiols)
Inhibiteurs de l'amylase	Blé	Digestion des glucides	
Inhibiteurs de l'invertase	Maïs	Digestioon des glucides	
Acide phytique	Tourteau de soja, tourteau de colza,pois, blé, mais	Digestion du phosphore et des protéines	Ajout de phytase, trempage et chauffage simultanés, lavage avec des acides.
Polyphénols (tanins, isoflavonoides....)	Tourteau de colza, tourteau, de lupin, pois, blé, maïs	Digestion	Dépelliculage, extrusion, lavage avec des acides
Inhibiteurs de l'arginase	Tourteau de tournesol	Métabolisme	
Alcaloïdes	Lupin	Appétit, hyperthyroide, métabolisme (neurotoxique)	Sélection végétale
Glycoside cyanoginase	Pois	Métabolisme	Chauffage, trempage
Glucosinolates	Tourteau de colza	Appétit, hyperthéroide, métabolisme	Sélection végétal, extrusion, lavage avec des sols solvants organiques.
Lectines	Tourteau de soja, pois, blé	Absorption , immunité, santé	Chauffage, extrusion, trempage, radiation infrarouge.
Saponines	Tourteau de soja, pois, lupin	Santé (entéropathie), digestion	Chauffage
Vicines, convicine	Féverole	Santé (anémie)	Sélection végétale
Phytoésterogéne	Tourteau de soja, lupin, blé, mais	Reproduction	
Allergènes	Tourteau de soja	Immunité, santé (entéropathie)	Dépelliculage

1.7.5. Substitutions des protéines d'origine animale

Les aliments pour poissons sont souvent très riches en protéines. C'est particulièrement le cas des aliments pour poissons carnivores, comme les salmonidés, pour lesquels les teneurs en protéines peuvent atteindre et même dépasser 40%.

La principale source de cette protéine est la farine de poisson. En même temps qu'elle apporte de la matière azotée, cette farine apporte aussi une grande quantité de phosphore (P) par les os de poissons (Kaushik, 1996 ; Hardy, 2002 ; Hardy et Gatlin, 2002).

Avec le déclin des pêcheries et les pressions réglementaires de plus en plus fortes sur les pêches, la farine de poissons devient de plus en plus rare et donc plus onéreuse. Elle est perçue comme un facteur limitant à moyen ou long terme pour l'aquaculture commerciale (Silva, 2006). Pour cette raison économique, mais aussi et surtout pour des raisons environnementales, il s'est avéré nécessaire de trouver des alternatives à l'utilisation de la farine de poissons en aquaculture. Sa substitution par des sources de protéines végétales est sérieusement envisagée (Hardy, 2003).

Les essais de Satoh et *al*. (2002) ont montré que l'extrusion à 140°C permet d'améliorer l'absorption du phosphore contenu dans la farine de soja chez la truite arc-en-ciel à tous les âges. En Inde, des essais de substitution de farine de poissons ont été réalisés avec succès avec de la spiruline (*Spirulina plafensis*) chez des carpes indiennes (Nadeesha et al.,1993) . Ces auteurs ont conclu que la spiruline peut remplacer complètement la farine de poisson dans les régimes des catla (*Catla cafta*) et des rohu (*Labeo rohita*).

D'autre part, selon Hardy (2003) la gélatinisation de l'amidon par chauffage permet une meilleure utilisation des glucides par les poissons omnivores. L'utilisation des glucides, plus digestibles, par les poissons essentiellement pour l'énergie leur permet d'épargner les protéines pour les besoins de croissance. Conséquemment, cette manipulation peut contribuer à réduire les proportions d'incorporation d'ingrédients d'origine animale dans les aliments.

Nombreuses recherches ont montré que le remplacement des farines de poissons par des protéines végétales entraîne une réduction de la croissance ou une diminution de l'efficacité alimentaire, dépendamment de la source protéique et du taux de remplacement dans les aliments (Gomes et *al*., 1995 ; Hardy, 1996 ; Bjerkeng et *al*., 1997 ; Storebakken et *al*., 1998 ; Carter et Hauler, 2000 ; Kissil et *al*., 2000 ; Refstie et *al*., 2001 ; Opstvedt et *al*., 2003 ; Lim et *al*., 2004).

Contrairement à ce qui est apportè par Gomes et *al*. (1995) qui ont démontré qu'il était possible de remplacer 50% des protéines animales par les protéines végétales.

Weede (1997) à apporter qu'il est possible de remplacer les farines de poisson par du GM à un niveau de 25% dans l'aliment chez les salmonidés sans diminution de la croissance. Selon ce même auteur, la consommation de nourriture et la croissance seraient affectées lorsque le niveau de substitution atteint 50% ou plus.

Pour Mente et *al*. (2003), le remplacement des farines de poisson par le GM peut atteindre 50% était faisable sans affecter la composition en acides aminés de la chair de la truite-arc-en ciel.

Malheureusement, la substitution des ingrédients animaux avec ceux d'origine végétale ne peut se faire sans problème. Puisque le phosphore dans les végétaux se présente sous la forme d'acide phytique ou phytate, peu ou pas disponible pour les poissons. Alors que, le phosphore contenu dans les farines de poissons est facilement utilisables. Selon Kaushik (1996), la phytase, enzyme de la dégradation de la phytate, est absente chez les poissons .

Pour rendre le phosphore phytique disponible, des essais de traitements enzymatiques, par incorporation de phytase, ont été réalisés avec succès (Kaushik, 1996 ; Vandenberg, 2001 ; Ogunkoya et *al*., 2005). Les études de Vandenberg (2001) et Ogunkoya et *al*. (2005) ont montré que l'incorporation de phytase améliore la digestibilité du phosphore, mais aussi celle de la matière sèche, des protéines et de l'énergie. Par ailleurs, Vandenberg (2001) et Benchabane et *al*. (2005) ont travaillé sur la stabilisation et la prolongation de l'action de la phytase dans le temps, par son encapsulation. Ce procédé n'aurait pas encore donné des résultats probants. L'amélioration de la digestibilité du P par l'extrusion, signalée par Satoh et al. (2002), serait due à la dégradation de l'acide phytique par une haute température (140 à 150°C). Or, selon Benchabane et *al*. (2005), une température de 85˚C générée par l'extrusion serait responsable de l'inhibition de l'activité enzymatique des microcapsules de phytase incorporées aux régimes à base de protéines végétales qu'ils ont utilisée dans leurs essais.

1.8. Fabrication de l'aliment

La fabrication des aliments pour poissons se faite selon un processus technologique complexe très avancé par rapport à la production de l'alimentation d'élevage de bétail terrestre traditionnel. Cette différence est principalement du au processus d'extrusion nécessaire pour obtenir les propriétés exigées des pellets d'aquaculture (MEMRM, 2011).

Cette technique offre des avantages importants par rapport aux aliments préssé. D'une part, elle permet d'améliorer la digestibilité de certains nutriments et améliore sa sécurité microbiologique, et d'autre part, elle permet de lui conférer une plus grande stabilité dans l'eau et de mieux contrôler l'ajout de graisse conformément aux besoins de chaque espèce piscicole. En outre, elle favorise l'ingestion contrôlée et diversifiée pour tous les poissons dans le cas de certaines installations et elle évite l'accumulation de pellets au fond, la perte de la qualité de l'eau, la consommation excessive d'oxygène et le développement de maladies (MEMRM, 2011).

La digestibilité est fortement liée à la qualité des matières premières. Des produits ayant le même profil chimique et nutritionnel et les mêmes niveaux d'énergie peuvent avoir des digestibilités différentes (Vilarino et *al*,.2016).

Un aliment riche en farine de poissons, ingrédient fragilisant l'agglomérat, devra comporter plus de liants qu'un aliment comprenant de la farine végétale. Sur le plan écologique, la pollution doit être limitée, l'aliment doit se déliter le moins possible dans l'environnement et entraîner le moins possible d'excrétions fécales et d'émission azotées. Aussi, les propriétés physiques de l'aliment doivent être étroitement mesurées (dureté, cohésion, flottaison, etc.) et la quantité d'énergie non digestible doit être restreinte (Médale et Kaushik, 2009).

La qualité de l'aliment se mesure par les performances qu'il permet d'offrir (vitesse de croissance, indice de conversion de l'aliment, coût de production) et aux qualités technologique, organoleptique et nutritionnelle de la chair des poissons. L'effet des aliments reste, cependant, soumis à de nombreux autres facteurs de variation tels que le mode d'élevage, l'état sanitaire et le niveau de rationnement (Vilarino et *al*,. 2016).

1.8.1.Processus d'extrusion

L'extrusion est devisée en deux étapes:

a. Pré-conditionnement

Les matières premières doivent être pré-conditionnées avant d'entrer dans l'extrudeuse. Le préconditionnement vise à pré-gélatiniser les matières premières. Les effets de gélatinisation affecteront directement la performance de travail de l'extrudeuse et la qualité des produits extrudés (Riaz, 2000).

L'objectif principal du pré-conditionnement est d'hydrater uniformément les matières premières afin d'éliminer tout noyau sec (Strahm, 2000).

Le pré-conditionnement à la vapeur d'eau ou à l'eau chaude (90 à 100°C) a toujours été une partie importante de l'extrusion. Guy (2001) a montré que le débit efficace de l'extrudeuse est presque doublé si le matériau de départ est pré-conditionné à la vapeur ou à l'eau .

Là, sont nombreuses les applications des produits alimentaires cuits extrudés où le pré-conditionnement joue un rôle clé dans le processus global d'extrusion.

Le pré-conditionnement n'est pas appliqué à tous les procédés d'extrusion. En général, cette étape est appliquée lorsque le taux d'humidité se situe autour de 20 à 30% et que les temps de séjour longs du matériau sont utilisés. Strahm et Riaz (2000) rapporte que l'humidité des matières premières doit être régulée entre 22 et 28%.

Le pré-conditionnement favorise l'hydratation uniforme des particules, réduit les temps dans l'extrudeuse et augmente le débit de l'extrusion, augmentant ainsi la durée de vie de l'équipement et réduisant également les coûts d'énergie impliqués dans le processus d'extrusion (Huber & Rokey, 1990). Selon Guy (2001) la consommation d'énergie peutêtre réduite à 60% par l'effet du pré-conditionnement.

Les pré-conditionneurs les plus couramment utilisés ont 2 axes de différents diamètres et vitesses de rotation, garantissant un temps de séjour entre 2 et 4 minutes.

Lorsqu'il est nécessaire d'ajouter des graisses fondues ou des huiles pendant le pré-conditionnement, il est préférable de le faire à la fin de processus, car si l'addition est faite au début, un revêtement peut être formé sur les particules ce qui rend l'eau difficile à pénétrer.

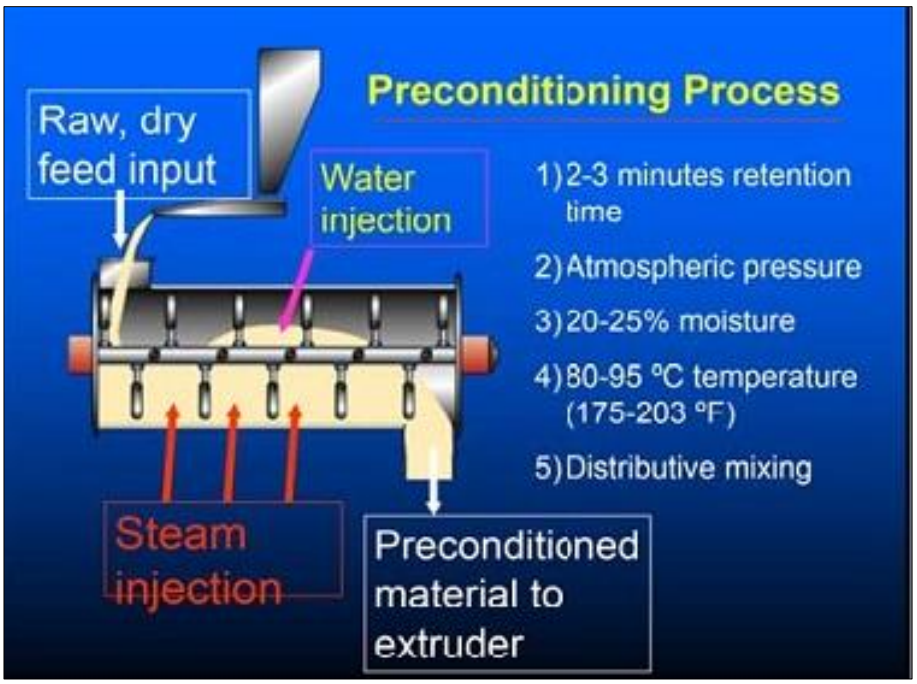


Figure 16 : Paramètres à respecter dans le pré-conditionnement

L'étape de pré conditionnement est une étape préparatoire à la deuxième phase de fabrication qui est l'extrusion. Elle permet d'améliorer le processus d'extrusion de plusieurs façons.

b. Extrusion

Le temps de séjour du matériau à l'intérieur de l'extrudeuse peut varier de 5 secondes à 2 minutes selon la configuration de la vis.

L'utilisation de l'extrusion dans la transformation des aliments est facilitée par le dynamisme des extrudeuses qui peuvent être à une ou à deux vis (Riaz, 2016).

La partie principale du système d'extrusion est composée essentiellement de deux vis. Les directions de rotation des ces deux vis sont les mêmes (anti-horloge).

Pendant le traitement, les matériaux collent sur les vis et sont poussés vers l'avant. Ces vis sont composées de sept sections. Le contact des matières premières avec le canon permet d'absorber l'énergie thermique provenant du canon (Fig.17).

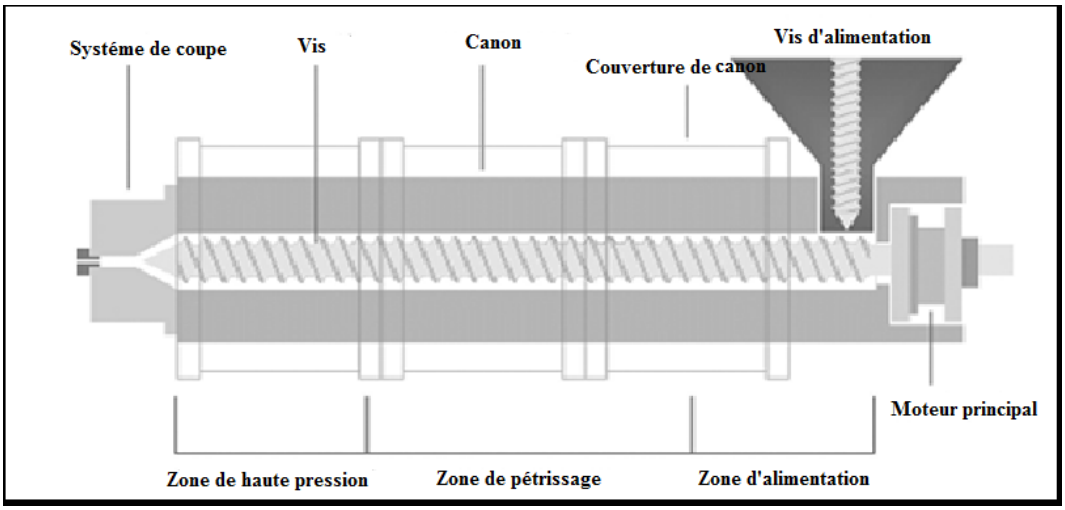


Figure 17 : Représentation schématique d'une extrudeuse comprenant ses parties principales et ses zones.

Figure 18 : Forme de deux vis de l'extrudeuse

L'extrusion consiste à forcer un produit à s'écouler à travers un orifice de petite dimension, la filière, sous l'action de pressions et de forces de cisaillements élevées, grâce à la rotation d'une ou deux vis. L'échauffement qui en résulte provoque une cuisson du produit, par la fusion de l'amidon dans le cas des céréales, d'où le terme de "cuisson-extrusion", puis une expansion par évaporation de l'eau à la sortie de l'extrudeuse (INRA, 2006).

Cette technique permet d'élaborer des produits extrêmement divers dans leur composition, leur structure et leurs propriétés fonctionnelles et nutritionnelles (dénaturation des facteurs antinutritionnels ou toxiques, stérilisation des aliments). L'extension de cette technologie au gluten de blé a permis l'obtention de gluten plastifié, à la base de nombreuses applications

dans le domaine des matériaux ou de l'emballage. Contrairement au cas de l'amidon, le traitement thermomécanique des protéines conduit souvent à des réticulations chimiques ce qui se traduit par l'obtention de produits élastiques dont les propriétés se rapprochent de celles du caoutchouc (INRA, 2006).

Typiquement, les extrudeuses à deux vis peuvent avoir les meilleures performances pour la production d'extrudats flottants par rapport aux extrudeuses à une seule vis, (Riaz, 2016). De plus, on peut obtenir un transport positif du matériau, un meilleur mélange et une plus grande surface de transfert de chaleur en un temps de séjour plus court et à un débit de sortie plus élevé pour une extrudeuse à deux vis (Zuilichem et Stolp ,1984 ; Shi et Utracki, 1992 ; Rauwendaal, 2004 ; Chevanan et al., 2010). Aussi, la propriété d'entremêlement auto-essuyant des vis jumelles présente l'avantage d'un auto nettoyage des machines, ce qui entraîne moins de déchets de mélange cru (Riaz, 2016).

Dans le procédé d'extrusion, le matériau sec ou pré-conditionné (l'humidité est généralement entre22 et 28%) est envoyé à l'extrudeuse à deux vis atteint la zone d'alimentation.

La vis dans la zone d'alimentation présente une profondeur pour le transport et l'homogénéisation de la matière première. La température est régulée entre (110- 120°C).

Le matériau est mené depuis la zone d'alimentation vers la zone de pétrissage. Dans cette zone, une réduction de la profondeur et de la vis, avec une augmentation conséquente de la vitesse de cisaillement, de la température (120- 135°C) et la pression (20-30 atm). Dans cette zone, la conversion d'un matériau solide en un fluide fondu commence à se produire.

Dans la zone de haute pression, la rotation de la vis entraîne un cisaillement plus élevé que celle de la zone de pétrissage et une génération de chaleur maximale (Fellows, 2000).

Ainsi, la masse extrudée atteint une haute température (135- 150°C) et la pression maximales et une viscosité immédiatement avant la sortie de l'extrudeuse (Fellows, 2000 ; Riaz, 2000). Le matériel, sous haute pression, est expulsé à travers la filière et au contact de la pression ambiante, se dilate à son format final et se refroidit rapidement à travers l'évaporation de l'eau (Fellow, 2000). Le produit qui sort de l'extrudeuse est généralement soumis à un séchage, atteignant des valeurs proches de 3% de teneur en humidité (Riaz, 2016).

1.8.2. Système de coupe

Le système de coupe est composé par un moteur, un couteau et une ceinture. Le châssis de couteau est fixé sur la partie de moule, entraînée par le moteur.Les aliments sont coupés par le couteau. Plus de 20 formes de moules sont disponibles.

Les extrudeuses sont composées de cinq parties principales :

1. Le système de pré-conditionnement;
2. Le système d'alimentation ;
3. Le canon ;
4. La vis ;
5. La matrice.

La matrice et le mécanisme de coupe que l'on peut voir sur la figure 19. En outre les matrices peuvent varier par rapport à la configuration de la vis, du canon et de la filière. La sélection de chacun de ces éléments dépendra de la matière première utilisée et du produit final désiré (Riaz, 2000).

À l'extrémité de la vis se trouve la matrice qui est une plaque de métal présentant plusieurs ouvertures à travers lesquelles la masse d'aliment bouillante est comprimée. La grosseur et la forme de ces ouvertures déterminent la forme et la grosseur du produit fini (El-Dash, 1981).

Placé très près de la matrice, un couteau rotatif coupe les fils de produits à la dimension voulue. Plus la vitesse de rotation du couteau est élevée, plus les produits finis seront courts et plus leur forme sera aplatie (Liang, 2011).

Dans la production des aliments pour poissons, la densité des granulés constitue un paramètre très important que l'on doit contrôler très attentivement. C'est en effet la densité des granulés qui détermine si les aliments vont flotter, couler ou bien rester en suspension dans l'eau (Liang, 2011).

Figure 19 : Matrice et différents éléments des systèmes de coupes

La matrice présente deux fonctions principales, elle donne la forme au produit final et favoriser la résistance au flux de matière dans l'extrudeuse permettant une augmentation de la pression interne. La matrice peut présenter différentes conceptions et nombre d'orifices (El Dash, 1981). Les matrices peuvent être conçues pour être très restrictives, ce qui augmente le remplissage du fût, le temps de séjour et la consommation d'énergie.

Partie I

Qualité physico-chimique des eaux de la station d'élevage de la truite arc-en-ciel et impact sur l'Oued Oum Er -Rbia

- *Introduction.*
- *Chapitre 1: Matériel &méthodes.*
- *Chapitre 2 : Qualité physico-chimique des eaux d'alimentation des bassins d'essais de la truite arc-en-ciel.*
- *Chapitre 3 : Impact des rejets des trois aliments étudiés (A, B et C) sur la qualité de l'eau de l'Oued Oum Er-Rbia.*
- *Conclusion.*

Partie I : Qualité physico-chimique des eaux de la station d'élevage de la truite arc-en-cielet impact surl'Oued Oum Er-Rbia

INTRODUCTION

Les stations piscicoles doivent faire face à des défis majeurs dont le plus important est la réduction des impacts négatifs des rejets sur l'environnement. Il s'agit surtout d'opérer un virage vers un développement durable de l'industrie par des pratiques propres conformes aux réglementations recommandées .

Les impacts environnementaux négatifs de l'aquaculture sont très nombreux, mais le plus préoccupant reste l'eutrophisation des cours d'eau récepteurs des effluents des fermes aquacoles (Persson, 1991 ; Correll, 1998 ; Ouellet ,1999 et Vandenberg, 2001). Les principaux polluants en cause dans ce phénomène sont le phosphore, l'azote, et les matières organiques en suspension (Correll, 1998).

Les eaux rejetées des fermes piscicoles agissent directement sur la dégradation des milieux récepteurs en provoquant préoccupant reste l'eutrophisation des cours d'eau récepteurs des effluents des fermes aquacoles.Le phosphore, l'azote et les matières en suspension sont les principaux éléments en cause de ce phénomène (Correll, 1998).

Les inquiétudes environnementales vis-à-vis de l'aquaculture ont amené les chercheurs à explorer les voies et moyens pour faire de l'aquaculture une activité viable et durable afin de lui permettre de continuer à jouer le rôle important qu'elle joue déjà dans l'approvisionnement mondial de produits halieutiques.

À la sortie des fermes de pisciculture, des normes de qualité de l'eau rejetée sont imposées. Elles constituent des limites pour la dimension de l'élevage et les possibilités de production. Le traitement des rejets en sortie de pisciculture participe à la réduction des impacts des effluents d'élevage. Une gestion efficace de l'alimentation en amont peut aussi y contribuer.

Pour que les fermes piscicoles deviennent rentables, les pisciculteurs doivent pour la plupart, intensifier leur production, utiliser l'eau au maximum et maintenu des inventaires élevés de poisson. Cette intensification de la pisciculture pourrait entraîner certains impacts sur l'environnement.

La composition des aliments piscicoles, leur digestibilité et le taux de conversion alimentaire conditionnent en grande partie le niveau des rejets dû à l'activité

piscicole, et donc la libération dans le milieu naturel de matières organiques et de nutriments (phosphore et azote) (Ackefors et Enell, 1994). Ceux-ci peuvent amener des changements dans les écosystèmes, particulièrement l'eutrophisation des milieux aquatiques.

Les risques d'eutrophisation du milieu par les activités piscicoles constituent, un frein au développement de plusieurs entreprise piscicoles. Plusieurs pisciculteurs sont conscients de ces contraintes et désireux d'y apporter des solutions. Mais souvent ceux-ci ne connaissent pas l'importance des leurs rejets, ni les impacts sur le milieu, ni la façon d'y remédier.

Le projet de la société domaine Ain Aghbal qui fait objet du présent travail, se propose de contribuer à relever le défi en explorant un essai comparatif de trois aliments (A, B et C) et évaluer leurs effets sur l'Oued Oum Er-Rbia. L'objectif global est d'obtenir des résultats significatifs en termes de croissance de production et de réduction des rejets piscicoles.

Ce travail vise également la détermination de la variabilité des principaux paramètres physico-chimiques des eaux rejetées par la station d'élevage de la truite arc-en-ciel dans l'Oued.

Chapitre 1 : Matériel et Méthodes

1.Présentation du site d'étude

1.1. Localisation géographique

Le Domaine Ain Aghbal, l'un des domaines agricoles privés au Maroc est situé à 3 km à l'ouest de la ville d'Azrou, Il est implanté sur les eaux pures et naturelles de la source Ain Aghbal.

Ce domaine comporte deux stations piscicoles, une station d'écloserie, de transformation et de prégrossissement à Azrou et une station de grossissement près des sources d'Oum Er-Rbia, située à 70km de la ville d'Azrou.

La station de grossissement d'Oum Er-Rbia, nommé communément l'Oued aux 40 sources. Situées sur la rive gauche de l'oued Oum Er-Rbia, ces dernières sont alimentées par une nappe phréatique traversant des terrains salifères. Cependant, cette eau, bien que salée, n'a pas la même composition que l'eau de mer avec absence d'iode et autres sels (Fig. 20).

Cette station possède une capacité d'élevage de 600m^3 et une capacité de production de 130 tonnes/an. Deux conduites d'eaux séparées desservent les bassins en eau douce et en eau salée.

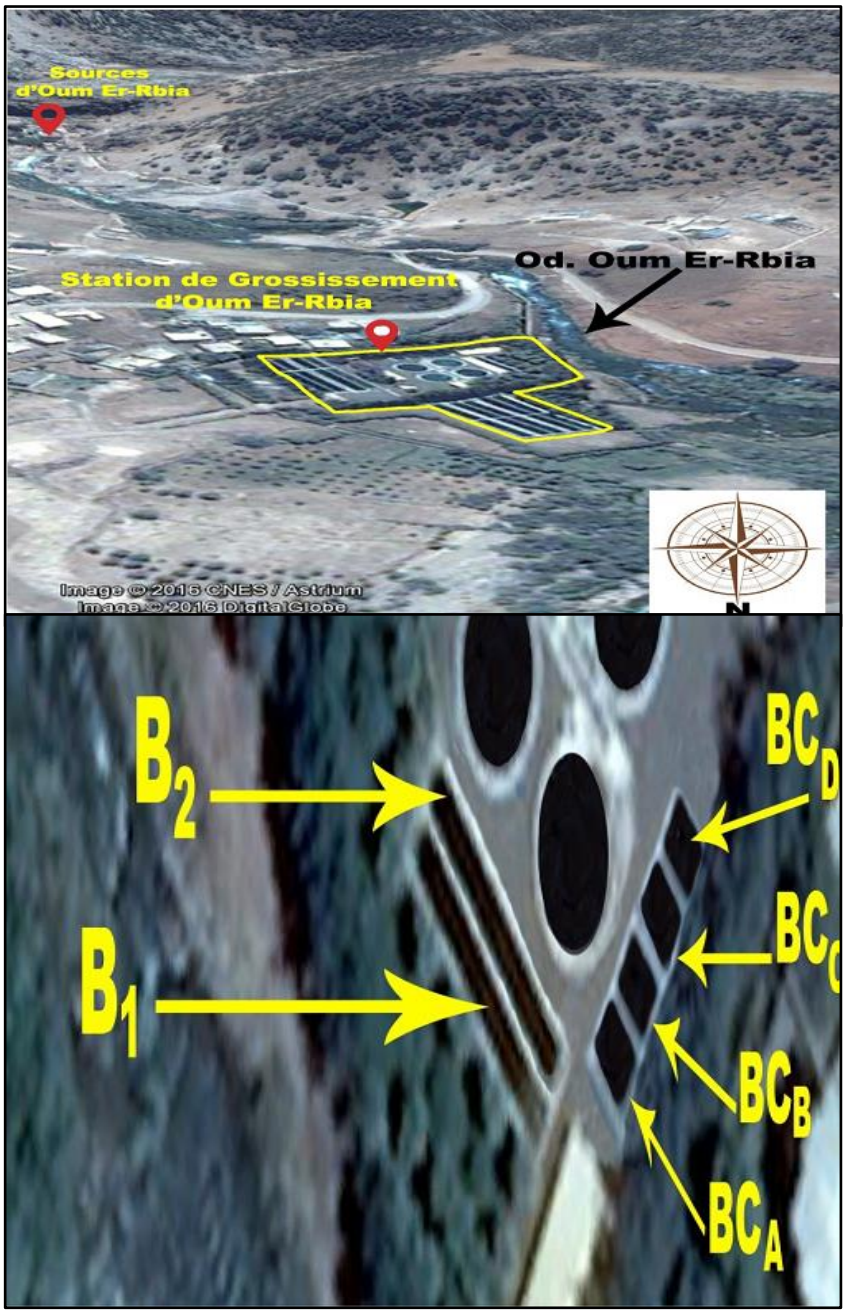


Figure 20 : Station de la pisciculture de Domaine Oum Er Rbiaa à Azrou - Maroc.

1.2. Objectifs de la station de grossissement d'Oum Er-Rbia

Après l'éclosion les truitelles ayant atteint une taille de 250g, dans des bassins de la station Ain Aghbal à Azrou, sont transférées à la station de grossissement d'Oum Er-Rbia pour engraissement.

Installée en aval des sources d'Oum Er Rbia. Cette station de grossissement profite de la bonne qualité des eaux et du débit important toute l'année.

Les bassins circulaires reçoivent les truitelles qui après leurs croissance, seront mises au niveau des bassins rectangulaires destinés pour grossissement.

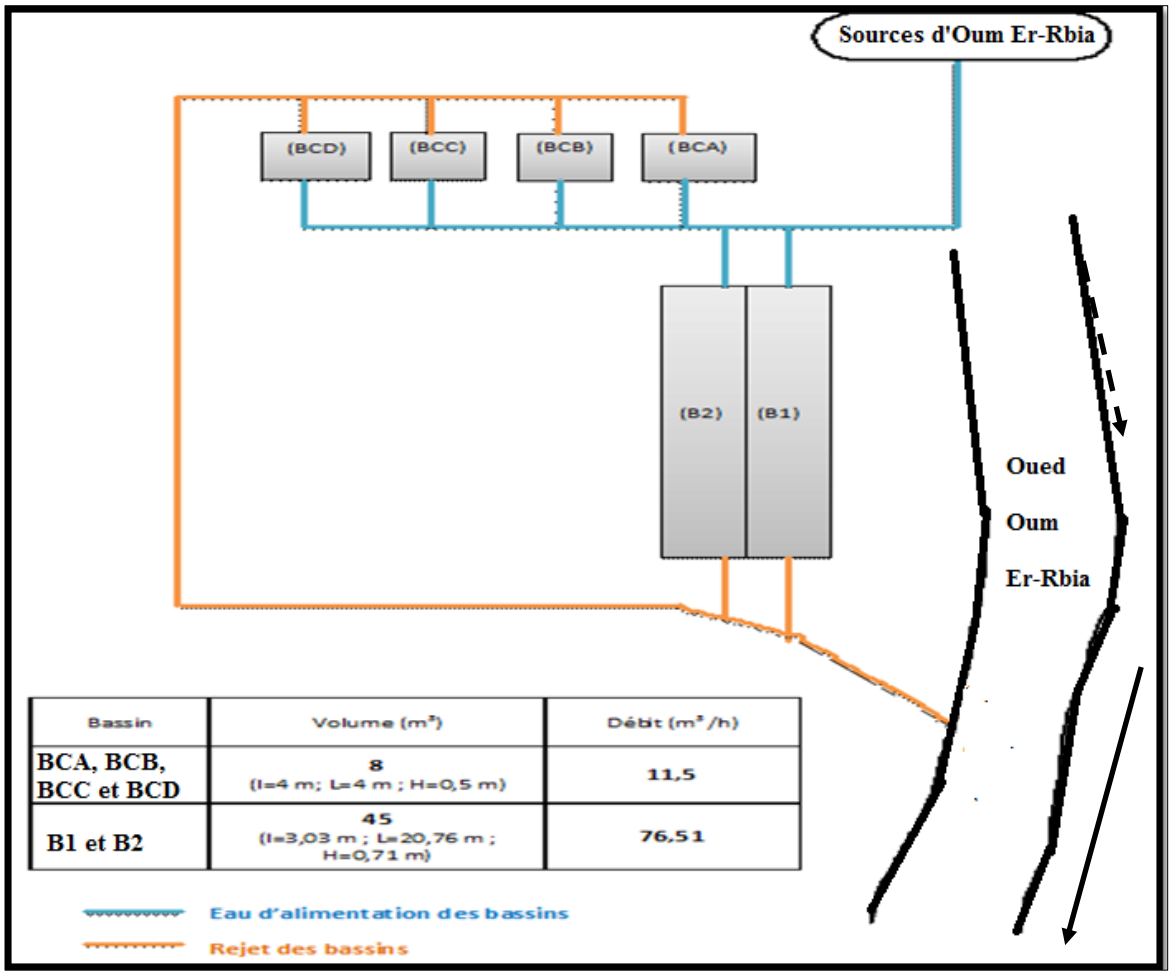
Le grand potentiel d'eau et la bonne gestion de l'alimentation des truites procurent à cette station, presque 90% de la production piscicole totale du domaine Ain Aghbal.

1.3. Bassins d'essai

Bienque notre étude a été confrontée à des modalités techniques liées au fonctionnement de la station d'Oum Er-Rbia, nous avons choisi 6 bassins de forme différentes pour réaliser notre expérimentation. En effet, 4 bassins en polystéres de forme carrée (BCA, BCB, BCC et BCD), d'un volume de 8m^3 et 2 bassins de forme rectangulaire en béton (B1 et B2) d'un volume de 45 m^3 (Fig. 21).

Le débit d'eau d'alimentation (eau de source Oum Er-Rbia) est de 11,47 m^3/h et 76,51 m^3/h respectivement au niveau des 4 bassins en polystéres et des 2 bassins en béton (Photo 1).

Le temps de renouvellement d'eau est le même niveau de l'ensemble des bassins.



Bassin	Volume (m^3)	Débit (m^3/h)
BCA, BCB, BCC et BCD	8 (l=4 m; L=4 m ; H=0,5 m)	11,5
B1 et B2	45 (l=3,03 m ; L=20,76 m ; H=0,71 m)	76,51

Figure 21 : Schéma d'alimentation des bassins d'essais par les eaux des sources d'Oum Er-Rbia.

Photo 1 : Forme des bassins d'essai (BCA, BCB, BCC, BCD, B1 et B2).

1.4. Prélèvement des eaux des bassins

11 points d'analyse sont retenus pour le suivi de la qualité de l'eau. Les stations de mesure de l'Oued Oum Er-Rbia sont identifiées par des piquets enfoncés dans le fond de l'Oued (Tab. 10).

Tableau 10 : Points de prélèvements des eaux.

Echantillons	Points de prélèvement
1	Eau de source
2	Sortie du BCA
3	Sortie du BCB
4	Sortie du BCC
5	Sortie du BCD
6	Sortie du B1
7	Sortie du B2
8	Point d'interaction des eaux des bassins carré et rectangulaire
9	1 mètre avant le point de la confluence des eaux des bassins d'essai et l'Oued Oum Er-Rbia
10	1 mètre après le point de confluence des eaux des bassins d'essai et l'Oued Oum Er-Rbia
11	50 mètres après le point de confluence

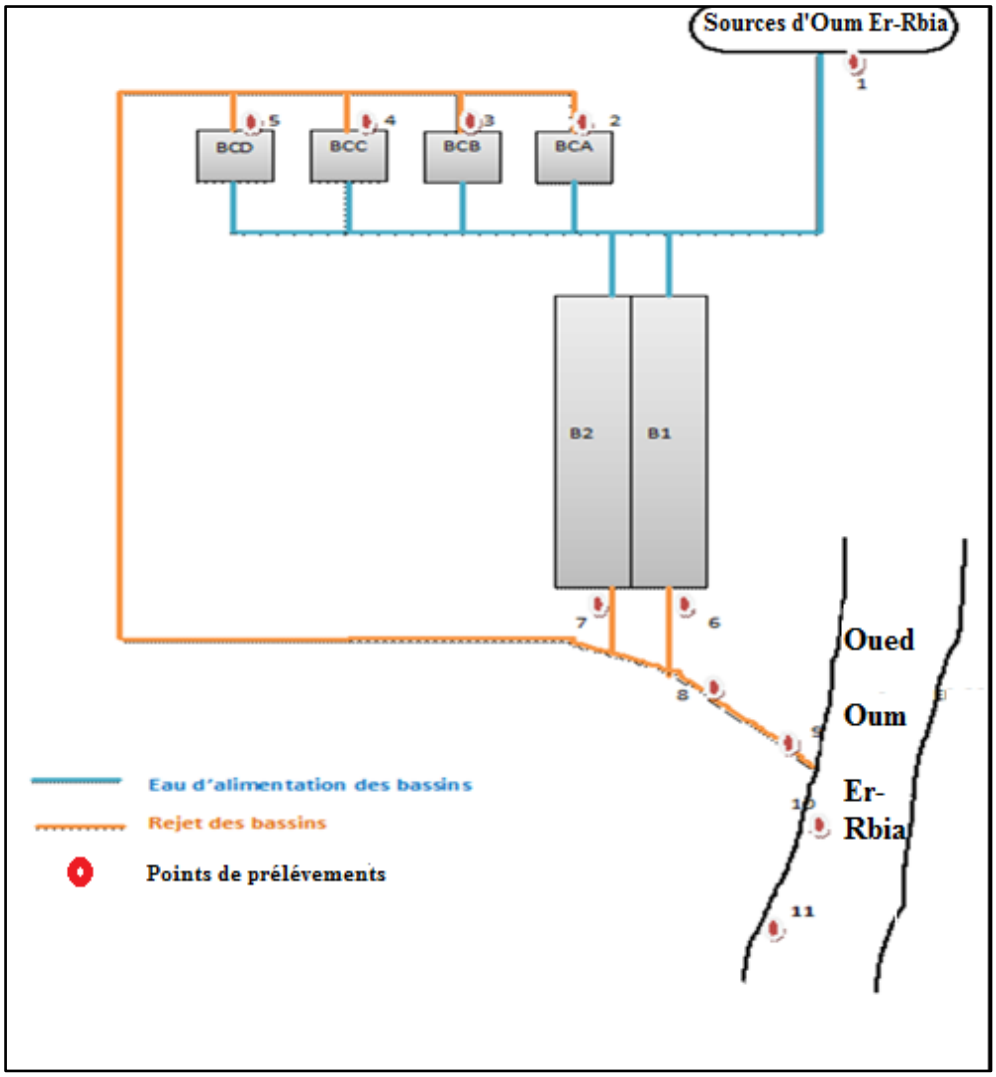


Figure 22 : Emplacement des points de prélèvements.

Les paramètres physico-chimiques analysés in situ sont la température de l'eau, le pH, la conductivité électrique et l'oxygène dissous.

Les analyses physico-chimiques de l'eau ont été effectuées à l'amont et à l'aval des six bassins d'essais (BC_A, BC_B, BC_C, BC_D, B_1et B_2).

11 échantillons d'eau ont été prélevés à une fréquence bimensuelle pour estimer les concentrations de l'azote ammoniacal, des nitrites, des nitrates, des orthophosphates, des matières en suspension et de la demande chimique en oxygène à la sortie des bassins. Ces prélèvements d'eau sont ensuite transportés dans une glacière à 4°C au laboratoire d'analyse de l'agence du bassin Hydraulique d'Oum Er-Rbia (ABHOER) de Béni-Mellal (Photo 2 et 3).

Les méthodes d'analyse sont résumées dans le tableau 11 ci-dessous:

Tableau 11 : Méthodes d'analyse physico-chimique del'eau.

Paramètres physico-chimiques	Méthodes d'analyse
Température	Oxymètre de terrain : Appareil d'Oxyguard
Oxygène dissous	Appareil d'Oxyguard
pH	pH mètre
Conductivité	Coductimètre : EUTECH instruments cond 6^+
Azote Ammoniacal (NH_4^+)	Méthode acidimétrique après distillation selon la norme AFNOR (1983) (NFT90-015)
Nitrites (NO_2^-)	Méthode de dosage spectrophotométrique des nitries (NFT90-012)
Nitrates (NO_3^-)	Méthode de dosage spectrophotométrique des nitrates (NFT 90-023).
Orthophosphate ($PO_4^{3-)}$	Spectrophotométrie après minéralisation suivie d'une hydrolyse d'acide (NFT 90-023).
Matière en suspension	Méthode par filtration sur filtre en fibres de verre
Demande chimique en oxygène	Méthode de détermination par le dichromate de potassium (NFT 90-101)

Chapitre 2 : Qualité physico-chimique des eaux d'alimentation des bassins de l'experimentation.

1. Introduction

Les élevages salmonicoles ont des modes d'alimentation en eau très variables qui dépendent des opportunités disponibles.

L'eau peut avoir plusieurs origines : source, forage, dérivation de cours d'eau, pompage en rivière, cages flottantes en lac, etc. Les deux modes d'alimentation les plus courants, sont les dérivations de cours d'eau et les sources.

Selon la qualité et la quantité de l'eau disponible, les objectifs de la pisciculture peuvent être différentes. En effet, l'implantation d'une station d'élevage peut s'orienter vers la reproduction ou vers une activité de grossissement.

L'alimentation en eau est souvent réalisée à partir d'une eau de très bonne qualité car les poissons sont sensibles aux plusieurs facteurs durant le cycle d'élevage, ils nécessitent en conséquence une eau exempte de toute pollution avec des caractéristiques physico-chimiques constantes et irréprochables tout au long de l'année (Guyennet, 2000).

Les sites salmonicoles doivent prendre en compte plusieurs types de contraintes.

Dans les zones avec un important couvert végétal, des dispositifs de dégrillage et de défeuillage permettant d'éliminer les particules les plus grossières apportées par la rivière, les périodes automnales et de crues sont particulièrement perturbatrices.

Les poissons sont des animaux aquatiques, l'eau est leur milieu de vie, ils ont tous des besoins spécifiques en matière de qualité physico-chimique de l'eau (Guyennet, 2000).

Les salmonidés, tels que la truite arc-en-ciel, l'omble de fontaine et l'omble chevalier sont des poissons d'eau douce et d'eau froide très exigeants en matière de qualité physico-chimique de l'eau. Ces exigences élevées proviennent des caractéristiques du milieu naturel d'où ces espèces sont originaires. En effet, les salmonidés habitent dans des lacs et cours d'eau froids bien oxygénés situés dans des milieux naturels peu productifs (oligotrophes) et non pollués. Il faut donc fournir à ces poissons, pour leur élevage, une qualité d'eau qui leur convient.

Cependant, la qualité physico-chimique de l'eau est modifiée sous l'influence de l'élevage intensif des poissons en pisciculture.

L'objectif de la présente étude est d'étudier la qualité de l'eau d'alimentation utilisée dans l'élevage de la truite arc-en-ciel du domaine d'Oum Er-Rbia.

2. Résultats

2.1. Caractérisation des paramètres physico-chimiques des eaux des bassins

2.1.1.Paramètres physiques

La température, le pH, la conductivité électrique et l'oxygène dissous de l'eau d'alimentation des bassins d'essai ont été mesurés in situ. Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 12 : Paramètres physiques des eaux des bassins

Période de prélèvement	T°C	pH	O_2 (mg/l)	Conductivité Electrique (µS/cm)	MES (mg/l)
15-Juin -2015	14,5	7,5	9,6	218	2
30-Juin- 2015	14,9	8	7	218,5	2
15-Juil- 2015	15	8,5	10	210	3
31-Juil- 2015	15,2	8,2	6,5	197	3
31-Août- 2015	15,5	8	6,9	200	4
31-Sep -2015	14,2	7,6	10	205	4
15-Oct- 2015	14	7,9	10,1	211	4,5
30-Oct- 2015	14,2	7,2	10,5	218	5,5
15-Nov- 2015	14	7	11	211	5
30-Nov- 2015	14,2	7,1	11,5	228	7
15-Déc- 2015	13,2	7	11	219	7
31-Déc- 2015	13,4	7,2	10	218	9
31-Janv- 2016	13	7,4	10,5	230	8
15-Fév- 2016	14	7	9,5	245	7
28- Fév- 2016	13,2	7,8	10	240	9

La figure 26 illustre La variation des paramètres physiques durant la période d'essai. En effet, la température a varié de 13 à 15,5°C.

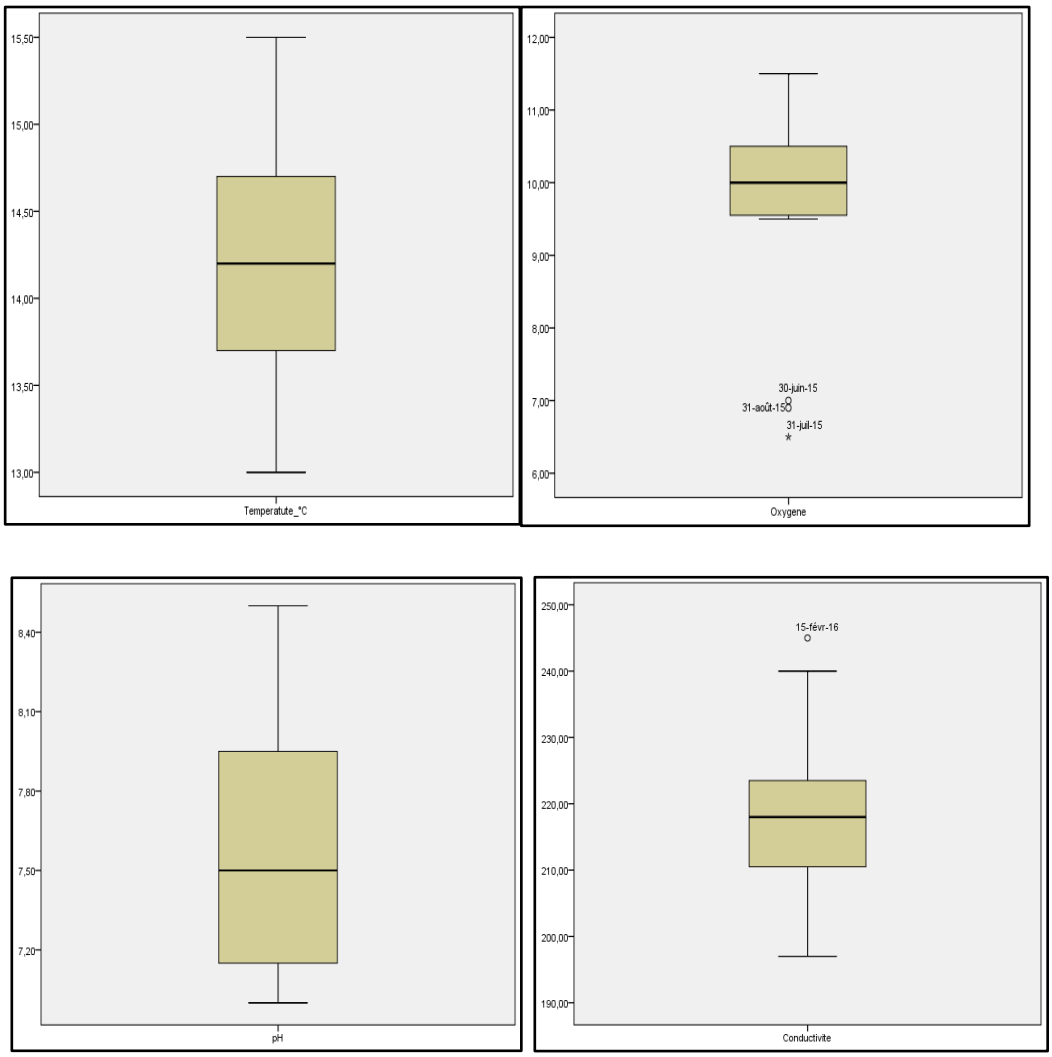
La valeur maximale est enregistrée au mois d'août et la valeur minimale au mois de décembre et Janvier. La température optimale de l'élevage de la truite arc-en-ciel durant l'élevage correspond aux normes recommandées.

Le taux d'oxygène dissous mesuré dans l'eau des bassins a oscillé entre 6,5 et 11,5 mg/l. Toutefois, les valeurs relativement faibles (7; 6,5 et 6,9) enregistrées

respectivement le 30 juin, le 31 juillet et le 31 Août 2015 restent optimales pour une bonne croissance piscicole.

Les valeurs de pH ont oscillé entre 7 et 8,5 et la conductivité électrique a varié entre 197 et 245 µS/cm dans les eaux d'alimentation des bassins d'essai avec un maximum de 245 µS/cm enregistrée le 15 février 2016.

Les matières en suspension varient entre 2 et 9 mg/l et ont trés faibles par rapport aux normes de pisciculture.



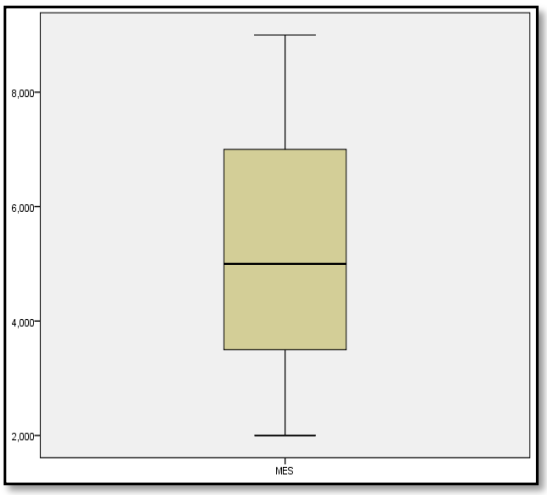


Figure 22 : Variation des paramétres physiques (Température, Oxygéne dissous, pH, conductivité électrique et matiéres en suspension) de l'eau d'alimentataion des bassins d'essai.

2.1.2. Paramètres chimiques

Les paramètres chimiques analysés dans l'eau d'alimentation des bassins d'essais sont l'azote ammoniacal, les nitrites,les nitrates et les orthophosphates (Tab. 13).

Tableau 13 : Paramètres chimiques des eaux des bassins.

Période de Prélèvement	Points	NH_4^+ (mg/l)	NO_2^- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	PO_4^{3-} (mg/l)
15-Juin -2015	E.S	0,011	0,003	1,63	0,013
30-Juin- 2015	E.S	0,006	0,0028	3,83	0,081
15-Juil- 2015	E.S	0,003	0,0028	4,5	0,06
31-Juil- 2015	E.S	0,005	0,011	4,52	0,032
31-Août- 2015	E.S	0,035	0,002	3,4	0,087
31-Sep -2015	E.S	0,040	0,0026	3,11	0,021
15-Oct- 2015	E.S	0,031	0,003	3,19	0,028
30-Oct- 2015	E.S	0,020	0,004	8	0,032
15-Nov- 2015	E.S	0,060	0,004	11,08	0,028
30-Nov- 2015	E.S	0,013	0,0017	5,4	0,03
15-Déc- 2015	E.S	0,013	0,0017	5,4	0,03
31-Déc- 2015	E.S	0,016	0,0011	3,45	0,016
31-Janv- 2016	E.S	0,014	0,0026	6,6	0,02
15-Fév- 2016	E.S	0,090	0,0034	5,58	0,03
28-Fèv- 2016	E.S	0,087	0,0038	5,78	0,025

La figure 27 illustre La variation des paramètres chimiques durant la période d'essai. Les teneurs des orthophosphates varient entre et 0,013 et 0,032 mg/l dans les eaux d'alimentation, les trois valeurs élevées ont été enregistrées respectivement le 30 juin, le 15 juillet et le 31 août 2015. La concentration en azote ammoniacal varie entre 0,0030 et 0,090 mg/l. Les deux valeurs qui ont dépassé cette gamme sont enregistrées le 15 et le 28 février 2016

Les valeurs des nitrites est ont oscillée entre 0,0011 et 0,011 mg/l. La norme exigée étant de 0,1 mg/l pour la vie piscicole de la truite arc-en-ciel.

Les teneurs en nitrates varient entre 1,63 et 11,08 mg/l dans l'eau d'alimentation. La seule valeur dépassée cette distribution et celle enregistrée le 15 novembre 2015. Par contre.

Cette étude a concerné les analyses physico-chimiques (des eaux d'alimentation et cellles des bassins durant le période s'étallant du 15 juin 2015 au 28 février 2016. L'échantillonnage d'eau a été effectuée à 12h à une fréquence bimensuelle à l'exception des mois d'Août, Septembre et Janvier en raison des conditions météorologiques

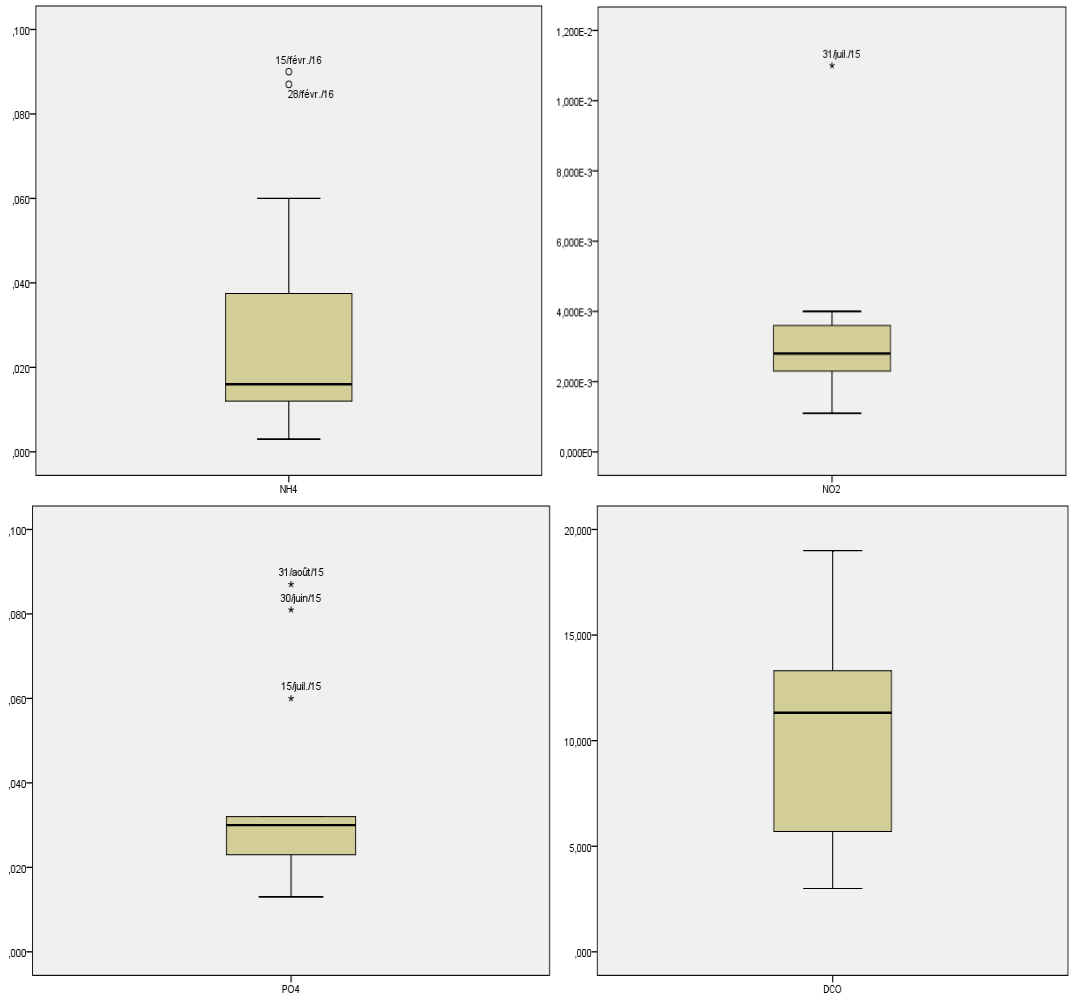


Figure 24 : Variation des concentrations de l'azote ammoniacal, des nitries, des nitrates , des orthophosphates, de la demande chimique en oxygène et des matières en suspension le long de la période d'essai.

2.2. Valeurs moyennes des paramètresphysico-chimiques de l'eau d'alimentationdes bassins d'essai.

Les résultats des analyses bimensuelles des paramètres physico-chimiques de l'eau de l'élevage montrent que durant la période de suivi, les truites étaient sous des conditions optimales selon les normes d'élevage de la truite arc-en-ciel (Tabl. 12).

En effet, pendant la période d'essai, la température moyenne de l'eau a enregistré une valeur de 14,88°C ± 0,70située dans l'intervalle optimal des normes de qualité des eaux de la truite.

D'ailleurs, l'eau d'alimentation de la station d'élevage d'Oum Er-Rbia est issue de la source d'Oum Er-Rbia qui se caractérise par une stabilité thermique toute l'année.

L'oxygène dissous mesuré à l'entrée des bassins d'essai montre une teneur moyenne assez importante de l'ordre de 9,60 mg/l ± 1,66 montrant ainsi que les poissons sont dans des conditions de saturation optimales en oxygène dissous.

Pour le pH, il a été noté que les valeurs moyennesont comprises entre 7 et 8,5 répondant ainsi aux normes exigées de l'élevage des truites.

De même les concentrations moyenne des orthophosphates, de l'ammonium, des nitrites et des nitrates restent dans les normes d'élevage pour la truite arc-en-ciel, ce qui assure une croissance optimale et une absence de mortalité (Tab. 14).

Tableau 14 : Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques de l'eau d'alimentataion des bassins

Paramètres	L'eau d'alimentation des bassins	Grille de qualité des eaux piscicoles
Température (°C)	14,88± 0,70	5<T<15
Oxygène dissous (mg/l)	9,53 ± 1,66	>7
pH	7,51 ± 0,50	6,6 à 8
Conductivité électrique (µS/cm)	216,73 ± 12,91	<350
Nitrates (mg/l)	4,73 ± 2,32	<100
Nitrites(mg/l)	0,0032± 0,0024	<0,1
Orthophosphates (mg/l)	0,0036± 0,023	<0,5
Azote ammoniacal(mg/l)	0,0250 ±0,025	<0,5
Matière en suspension (mg/l)	9,53 ±2,69	<25
DCO (mg/l)	9,97±5,55	25 à 30

3. Discussion

La production piscicole a la particularité d'être la production animale la plus intimement liée au milieu dans lequel elle se pratique. Son essor dépend d'un approvisionnement en eau de bonne qualité, possédant de bonnes propriétés physiques (température, oxygène, pH, conductivité électrique) et chimiques (concentrations acceptables de NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, PO_4^{3-}et MES) et exempt de produits toxiques et microbiologiques pouvant jouer un rôle de vecteurs d'agents pathogènes responsables des maladies dévastatrices de la production piscicole (Guyennet, 2000).

La température ambiante standard (TAS) est la température à laquelle on obtient une croissance et un rendement maximaux de la nourriture. Chez la truite arc-en-ciel, cette température est de 15°C (Piper et *al.*, 1982). La truite arc-en-ciel croît à un

rythme beaucoup plus lent à 7°C qu'à 15°C (Ducateau, 2015). A des températures continuellement égales ou inférieures à 9°C, l'élevage de la truite ne serait probablement pas rentable (Bernard, 2010).

Les valeurs de la température mesurées au niveau de la station de grossissement d'Oum Er-Rbia sont comprises entre 13,2 à 15,5°C pendant la période de Juin 2015 à Février 2016. Elles sont favorables à la croissance de la truite arc-en-ciel, ces résultats corroborent avec ceux obtenus par Darschnik et Schumacher(1987) montrent que la température peut augmenter de façon significative pendant les mois d'été et l'enrichissement en azote et phosphate est important.

Cette valeur est proche de celle enregistrée dans les eaux d'alimentation de la station de grossissement d'Oum Er-Rbia dont la moyenne est de 14,16 ±0,76°C.

L'oxygène dissous est un autre paramètre abiotique important, car il conditionne l'état de vie des organismes aquatiques. Sa teneur peut être critique, spécialement dans les milieux profonds et peu agités (Arrignon, 1998).

Au niveau de la station de grossissement, l'eau d'alimentation est bien oxygénée avec des teneurs variant entre 6,5 et 11mgO_2/l. Ceci confirme les valeurs de Raleigh et *al*. (1984) et Arrignon (1998) qui ont rapporté que les salmonidés survivent mieux dans les habitats dont la concentration en oxygène dissous est supérieure à 7mg/l. Pittenger (2002) a trouvé quela truite de Gila (*Oncorhynchus Gilae)*se comporte de façon meilleure dans un milieu où la concentration en oxygène dissous est supérieure à 9 mg/l. Durant notre expérimentation, seules deux teneurs en oxygéne dissous sont inférieures à 7mg/l enregistrés le 31 Juin et le 31 Août, ceci pourrait être dû à l'augmentation de la température de l'eau. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Nisbet (1966, 1968) et Nisbet et Vernaux(1970) qui ont montré que la solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue lorsque la température augmente et vice versa.

La distribution des teneurs de la conductivité électrique au niveau de l'eau d'alimentation est affectée par la concentration du chlorure de sodium contenue dansl'eau des sources puisque l'eau de la majorité des sources Oum Er-Rbia traversent des terrains salifères. Cependant, cette qualité d'eau, bien que salée, n'a pas la même composition que l'eau de mer (absence d'iode et autres sels). Sa conductivitéélectriquevarie entre 197 et 245 µs/cm.

Le pH varie de 7,2 à 8,5. Il est influencé par la température de l'eau pendant les différentes saisons.

L'eau issue des sources est d'excellente qualité en matière de minéralisation, avec un pH relativement stable et une température moyenne optimale ce qui assure une bonne stabilité des conditions d'élevage.

Les matières en suspension dans l'eau d'alimentation présentent des faibles valeursne dépassant guère 9mg/l. Ces faibles teneurs sont liées à l'eau d'alimentation qui provient directement des sources d'Oum Er-Rbia. Néanmoins, ces valeurs sont favorables à l'élevage de la truite en phase de grossissement qui exige une concentration des matières en suspension inférieure à 25 mg/l (Sigma, 1983). Du 15 juin au 31 juillet 2015, les concentrations des MES sont inférieures à 3 mg/l ce qui permet de qualifier les eaux des sources Oum Er-Rbia parmi les eaux convenables pour l'élevage optimale de la truite arc-en-ciel en phase d'alevinage. Selon Sigma (1983), la période d'alevinage de la truite exige des teneurs en MES ne dépassant pas 3 mg/l.

Les paramètres chimiques ont été évalués durant la même période et ont montré des variations non significatives. En effet,les teneurs des nitrates et nitrites sont faibles et ne dépassent pas les normes recommandées aux grilles de la qualité de l'eau d'élevage de la truite arc-en-ciel(Barnabé et *al.*, 1991).

Les seuils de toxicité pour les nitrites se situent à 0,1mg/L. Les nitrates sont peu toxiques avec un seuil inférieur à 100mg/l (Morin, 2012). Les concentrations de nitrates et nitrites dans les eaux d'alimentation ne sont pas toxiques et sont négligeables pour les nitrates.

Un bon taux de renouvellement de l'eau et la propreté des bassins contribuent à diminuer les risques associés à l'ammoniac. La recirculation de l'eau oblige d'être particulièrement vigilant en regard de ce contaminant.

Pendant la période d'essai, l'azote ammoniacal dans les eaux d'élevage de la truite arc-en-ciel présente des concentrations comprises entre 0,003 et 0,09 mg/l répandant aux exigences et aux normes d'élevage de la truite arc en ciel.

Les concentrations en orthophosphates connaissent des faibles fluctuations variant de 0,013 à 0,032 mg/l à l'exception des valeurs enregistrées en juin, juillet et août 2015 qui sont légèrement élevées (0,06 à 0,08 mg/l). Ces valeurs sont probablement liées à une transformation de phosphates organiques en orthophosphates par des processus chimiques ou enzymatiques vu qu'il y'a absence totale de sédiment et que

l'eau est renouvelée chaque demi heure. Cette constatation confirme celle rapportée par Ouellet (1999).

4. Conclusion

Le suivi de l'évolution de la qualité des eaux d'élevage de la truite arc-en-ciel montré que les paramètres physico-chimiques étudiés varient dans les normes recommandées pour une vie piscicole optimale et ne dépassent pas les valeurs limitées pour l'élevage de cette espèce.

L'évolution de ces paramètres présente une similarité entre les saisons d'hiver et d'été malgrè la différence entre les périodes de prélèvements.

En définitive, la majorité des paramètres physico-chimiques de l'eau d'alimentation de la station d'élevage d'Oum Er-Rbia répandent aux exigences et aux normes d'élevage de la truite arc-en-ciel, ce qui permet de qualifier ce site comme bon milieu pour l'élevage optimal de la truite arc-en-ciel au cours de son cycle de production surtout en phase de grossissement.

Le taux de renouvellement de l'eau des bassin et leur propretésont parmi les fils conducteurs essentiels pour un grossissement réussi de la truite arc-en-ciel. Ils contribuent à diminuer les risques associés aux contaminants.

Chapitre 3 : Impact des rejets des trois aliments étudiés (A,B et C) sur l'Oued Oum Er-Rbia

3.1. Résultats

Trois aliments piscicoles de differentes compositions biochimiques et de différents origines ont été testés pour évaluer leurs impacts sur l'oued Oum Er-Rbiaa:

- Aliment A = France
- Aliment B= Danemark
- Aliment C= Maroc

Pour étudier l'impact des rejets des trois aliments étudiés (A,B et C) sur l'Oued Oum Er-Rbia, plusieurs prélèvements successifs au cours de la journée ont été réalisés sur l'Oued Oum Er-Rbia afin de déterminer le temps idéal du pic maximal des excréments de poissons pour effectuer les analyses physico-chimiques des eaux à la sortie de bassins.

Tableau 15 : Heures de prélèvement des eaux.

Heures de prélèvement	NH_4^+ (mg/l)	NO_2^- (mg/l)	NO_3- (mg/l)	PO_4^{3-} (mg/l)	DCO (mg/l)	MES (mg/l)
8h30	0,001	0,001	4,98	0,041	3,07	3
9h	0,001	0,0012	6,59	0,051	3,08	2
9h30	0,012	0,0017	5,21	0,014	3,1	7
10h	0,048	0,0069	5,23	0,016	3,95	2
10h30	0,011	0,0069	5,39	0,061	3,94	7
10h45	0,016	0,011	5,42	0,06	3,95	5
11h	0,022	0,024	5,18	0,065	3,98	7
11h15	0,02	0,022	5,56	1,26	3,98	7
11h30	0,054	0,013	5,67	0,044	7,9	9
12h	0,015	0,024	5,34	0,052	6,11	9
12h30	0,03	0,013	5,34	0,061	3,95	3
13h	0,031	0,012	5,9	0,016	3,95	3

Après la distribution du premier repas à 8h du matin et selon les analyses physico-chimiques à différentes heures de la journée, on a remarqué que le pic des excréments de la truite est enregistré à 11h30min. En effet, les concentrations sont de 0,044;9 ; 7,9 respectivement pour les orthophosphates,les MES et la DCO (Tab.15).

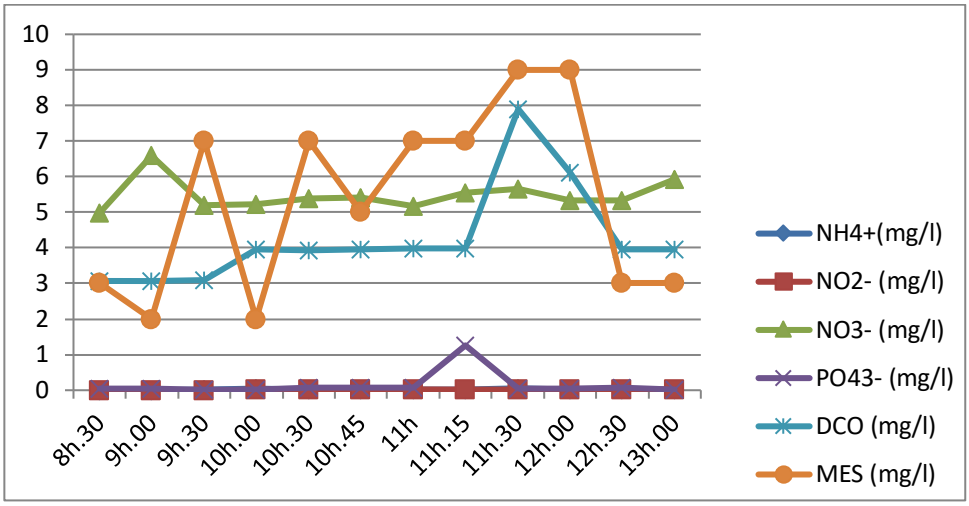


Figure 23 : Concentrations maximales des rejets de la truite arc-en-ciel.

3.1.1. Ammonium

Le tableau 16 ci-dessous montre les pourcentages de protéines dans les aliments (A,B et C). Ce taux est ⩾39% au niveau des trois types d'aliments aux différents stades de grossissement (alevinage, prégrossissement et grossissement).

Tableau 16 : Pourcentage de taux de protéines dans les trois aliments testés.

	Aliment A			Aliment B			Aliment C		
Granulométrie	3mm	4.5mm	7mm	3mm	4.5mm	7mm	3mm	4.5mm	7mm
Protéines(%)	40	39	39	45	43	41	46	45	40

L'évolution du NH_4^+ durant la période de grossissement (222 jours) est presque similaire pour les trois aliments lors de la phase de pré-grossissement (40-100g), au delà du 31 décembre là où le poisson atteint une taille de 500g (phase de grossissement), on observe une évolution remarquable des concentrations de NH_4^+ avec un maximum de 0,40 mg/l noté à la fin de la période d'essai pour l'aliment C.

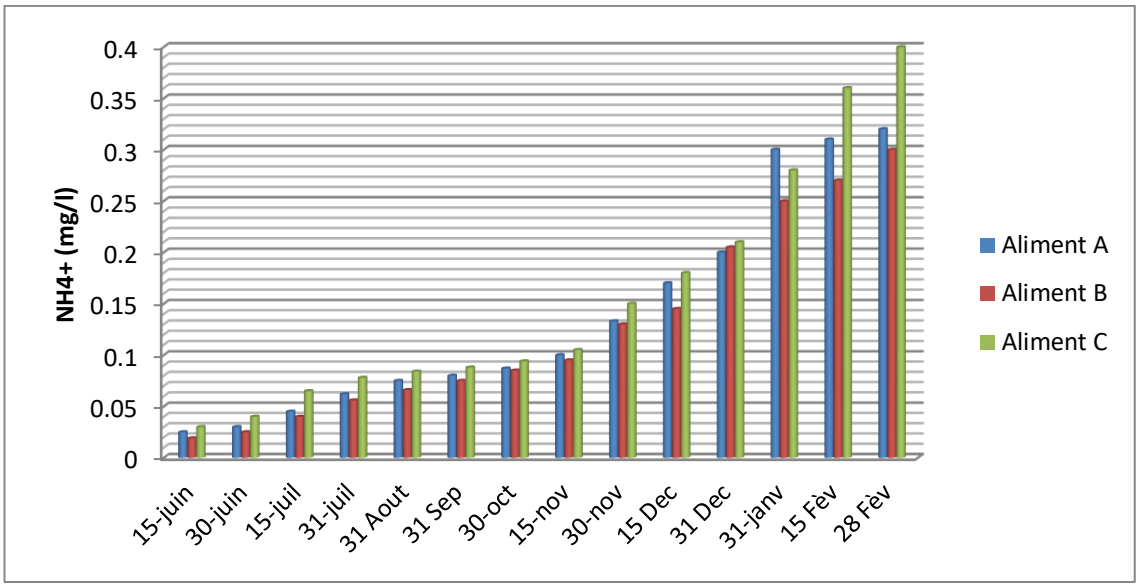


Figure 26 : Évolution de la concentration de NH_4^+ dans l'eau de sortie des bassins d'élevage

3.1.2. Nitrites et Nitrates

Les résultats de l'évolution des nitrites et des nitrates montrent que l'aliment C est l'aliment qui présente les fortes teneurs avec une concentration de 0,17mg/l pour les nitrites et 14,25 mg/l pour les nitrates.

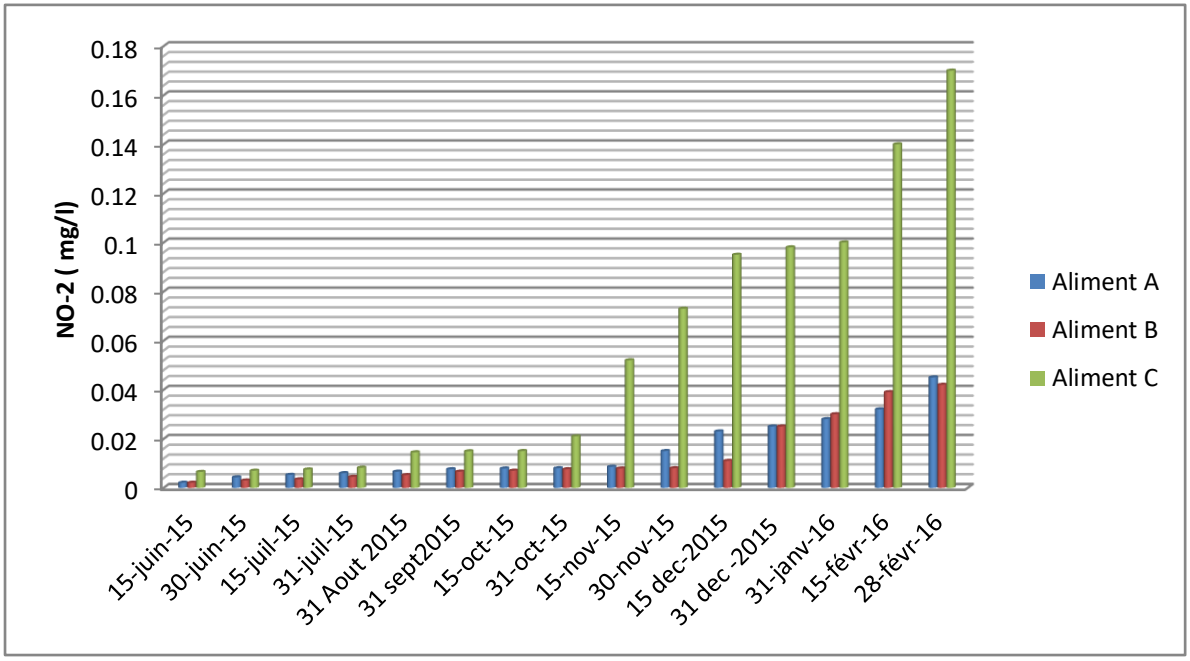


Figure 27 : Évolution de la concentration de NO^-_2 dans l'eau de sortie des bassins d'élevage

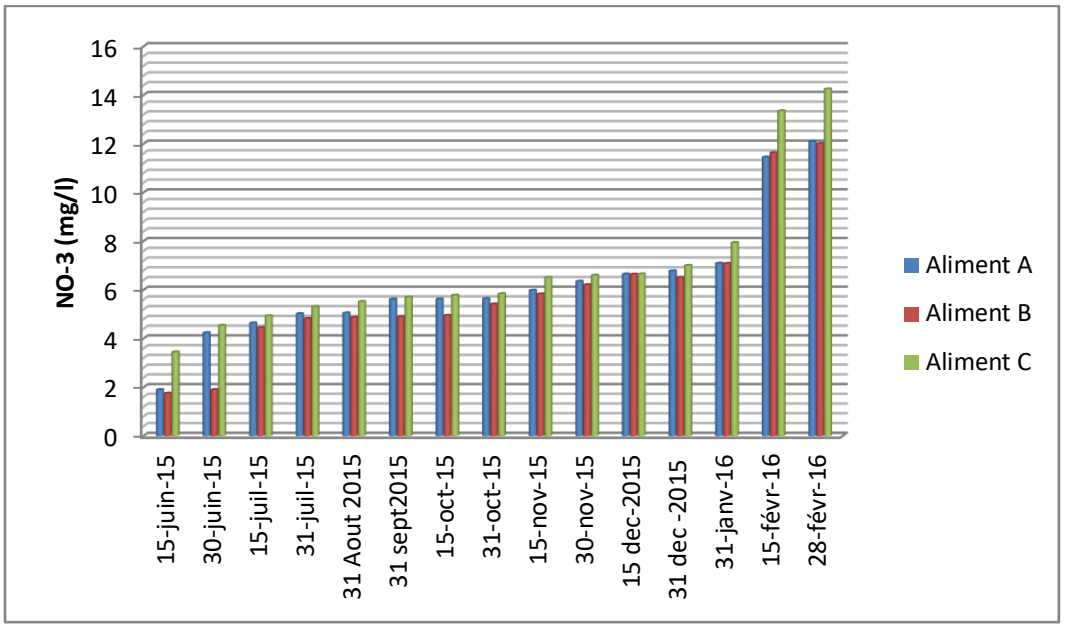


Figure 28 : Évolution de la concentration de NO_3^- dans l'eau de sortie des bassins d'élevage

3.1.3. Orthophosphates

Les pourcentages du taux de phosphore dans les 3 aliments étudiés sont donnés dans le tableau 17. Ces taux atteignant 1,5% dans l'aliment C.

Tableau 17 : Pourcentage des taux des phosphores dans les trois aliments

Aliments	Aliment A			Aliment B			Aliment C		
Granulométries	3mm	4.5mm	7mm	3mm	4.5mm	7mm	3mm	4.5mm	7mm
Phosphore (%)	1,05	0,98	0,9	1	1	1	1,5	1,5	1,4

L'évolution des orthophosphates PO_4^{3-} durant les 222 jours d'élevage est presque similaire pour les aliments A et B et ne dépassent pas 0,14mg/l (fig. 32). En revanche, la concentration rejetée dans l'eau de sortie des bassins alimentés par l'aliment C a augmenté de façon remarquable depuis janvier 2016 et a atteint un maximum de 0,25mg/l le 28 Février 2016.

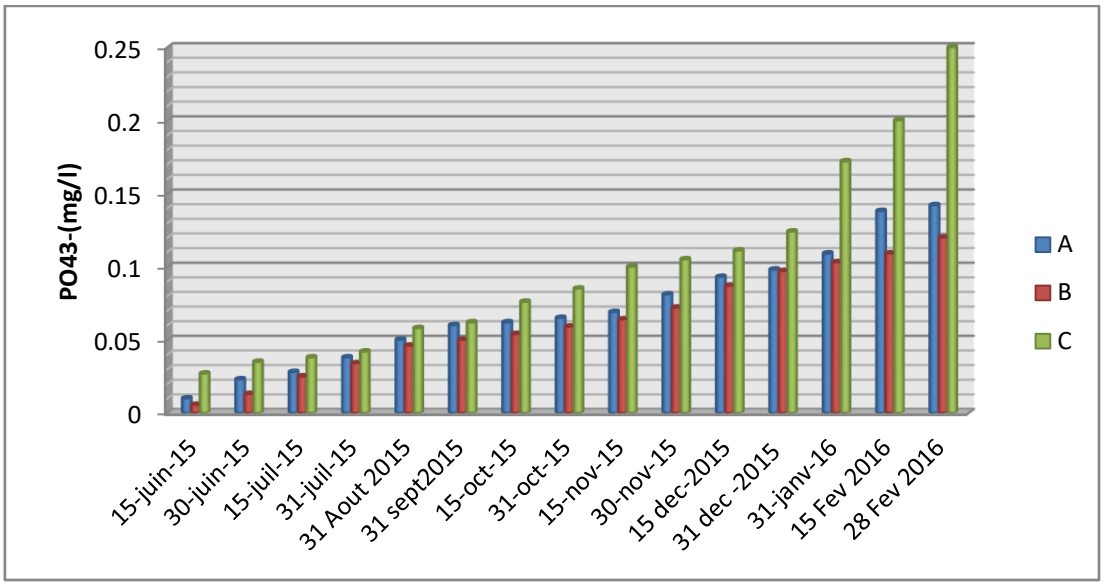


Figure 24 : Évolution de la concentration des orthophosphates dans l'eau de sortie des bassins d'élevage.

3.1.4. Matières en suspension

Les résultats de l'évolution des matières en suspension indiquent que l'aliment C est l'aliment qui présente les fortes teneurs durant toute la période d'élevage avec une concentration maximale de 22mg/l enregistrée le 28 Février 2016.

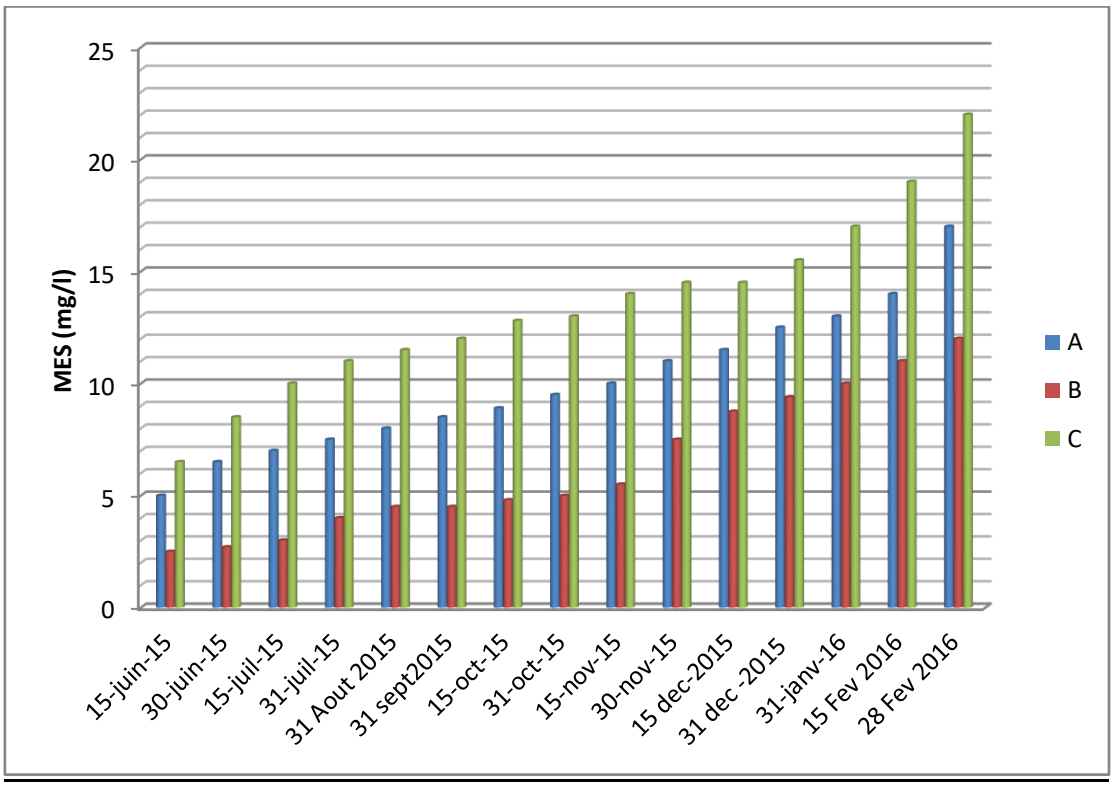


Figure 25 : Évolution de la concentration des Matières en suspension dans l'eau de sortie

3.1.5. Demande Chimique en Oxygène

La figure 34 montre que la DCO dans les effluents des bassins alimentés par l'aliment A est relativement incomparable à ceux alimentés par les aliments B et C.

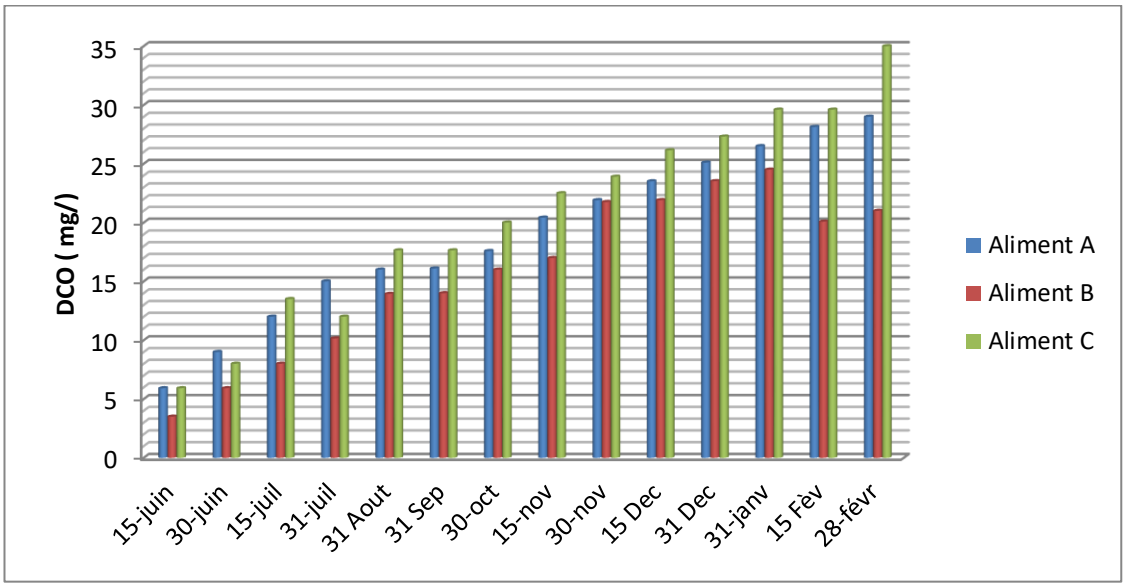


Figure 26 : Évolution de la demande chimique en oxygéne au niveau de l'eau de sortie

3.2. Impact des trois aliments sur l'Oued Oum Er-Rbia

Les concentrations des paramètres physico-chimiques de l'eau au niveau des points de prélèvement (8, 9, 10 et 11) illustrés dans le tableau 18 et la figure 23 (chapitre Matériel et Méthodes). Ces points de prélèvements sont disposés comme suit :

- Point 8 (**E1**) : Point d'interaction des eaux de sortie des différents bassins.
- Point 9 (**E2**) : Point situé à 1 mètre avant le point de confluence des eaux des bassins d'essai et l'Oued Oum Er-Rbia.
- Point 10 (**E3**) : Point situé,au niveau de l'Oued Oum Er-Rbia, à 1 mètre du point de confluence.
- Point 11 (**E4**) : 50 mètre après le point de confluence des eaux.

Au niveau du point de prélèvement E1 (point 8), nous avons enregistré les teneurs les plus élevées en ammonium, nitrates, nitrites, orthophosphates, matières en suspension et demande chimique en oxygène.

En effet, E1 est le point de mélange des rejets de bassins des trois aliments ce qui explique les valeurs élevées des nitrates, des MES et de la DCO.

Au niveau de E2 (point 9), les concentrations des éléments rejetés sont très faibles par rapport à E1.

Au point E3 (point 10), les éléments analyés représentent le cumul de ceux qui arrivent des bassins sources et ceux d'origine les sources d'Oum Er-Rbia.

Plus en aval, les concentrations enregistrées au niveau de E4 (point 11) sont comparables à celles trouvées au niveau de l'eau d'alimentation à l'entrée de la station avec des teneurs élevées mais acceptables de la DCO.

Tableau 18 : Suivi des rejets des trois aliments dans les différents points de prélèvement dans l'Oued Oum Er Rbia durant la période d'essai (Moyenne de la période Juin 2015-Février 2016).

	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	MES	DCO
E1	0,43± 0,32	0,127±0,090	19,09±8,33	0,23±0,13	29,79±10,23	54,97±21,21
E2	$4,23.10^{-3}$± $5,9.\ 10^{-4}$	$1,9.\ 10^{-3}$±$9.\ 10^{-4}$	2,49±0,97	$1,2.10^{-3}$±$1,2.10^{-4}$	4,76±1,67	7,61±3,04
E3	0,032±0,01	0,079±0,065	5,19±2,85	0,027±0,010	19,55±4,58	5,9±2,56
E4	0,02±0,012	$3,310^{-3}$±$2,210^{-3}$	5,03±2,31	0,030±0,019	5,33±2,38	10±5,20

3.3. Discussion

Dans le contexte de développement durable et des préservations des ressources en eau, nombreux chercheurs ont étudié l'effet de l'aquaculture sur l'environnement avec des essais de minimisation des concentrations des différentes éléments dans les effluents piscicoles. Ces études ont touché des fermes d'élevages de bar (Einen et *al*.,1997)"*Dicentrarchuslabrax*", des salmonidés (Young et *al*.,1998; Dosdat, 2003) et montrent que les rejets de l'azote dans les exploitations piscicoles ouvertes ont été estimés sur la base du rapport linéaire entre l'azote présents dans l'aliment et l'azote excrété.

A la lumière des résultats trouvés dans notre expérimentation, la concentration d'ammonium (NH_4^+) rejetée est proportionnelle à la ration alimentaire. En effet, lorsque les taux de rationnement sont faibles et la satiété éloignée, les teneurs en NH_4^+sont faibles dans l'eau rejetée. Ceci a également été rapporté par Kaushik et *al*., (1984) quiont montré que la quantité d'azote rejetée est liée directement à la quantité d'azote protéique ingérée.

L'excrétion des substances dissoutes étant liée au métabolisme des poissons, l'excrétion reste identique au sein d'une même espèce quel que soit l'élevage pris en considération (cages, bassins ou élevage en eau recyclée)(Pagand,1999). En effet, la quantité d'aliments distribuée affecte fortement les pertes azotées engendrées par le nourrissage (Elliot, 1976 ; Tatrai, 1981 ; Durbin et Durbin, 1981) puisqu'il a été noté qu'une augmentation de la ration accroît l'excrétion d'azote ammoniacal chez la truite

arc-en-ciel. Ceci est en parfaite concordance avec les travaux réalisés par Kaushik (19NJ 80) et Cui et Wotton (1988).

Les poissons ont besoin d'azote et de phosphore dans de nombreux processus métaboliques. Ces éléments sont apportés aux poissons par la nourriture, mais ils ne sont pas absorbés ou digérés complètement,une certaine quantité est rejetée dans le milieu récepteur (Ouellet, 1999).

Quel que soit le système d'élevage, seuls 25 % d'azote et 30 % du phosphore de l'aliment sont intégrés et transformés en chair de poissons (Hargreaves, 1998 ; Blancheton, 2009).

Les nutriments non digérés et les catabolites issus du métabolisme digestif sont rejetés dans l'environnement sous forme de matières dissoutes (azote ammoniacal, urée et phosphate) et de matières solides (fèces et aliment non consommé). Ces rejets piscicoles sont particulièrement néfastes puisqu'ils participent à l'eutrophisation des milieux aquatiques (Le François, 2009).

Kaushik (1996) stipule que tant que le régime alimentaire est riche en protéines, l'excrétion d'ammoniaque est importante, ceci est non conforme avec nos résultats qui montrent que l'aliment extrudé B ayant un taux de protéines élevé de 41% ne présente que de faibles rejets azotés. Cependant, l'aliment A ne contenant que 39% de protéines rejete une concentration de NH_4^+ relativement plus élevée de 0,36 mg/l.

Les deux aliments A et B sont en grande partie digérés et la concentration en NH_4^+ dans l'eau de sortie est faible (0,32 et 0,36 mg/l).

Les concentration des nitrites et nitrates rejetées par les trois aliments sont très faibles ne présentant aucun effet sur la toxicité de poisson. Cette étude confirme les résultats de Kaushik(1980) qui a montré que les rejets sous forme de nitrites et nitrates dûs aux poissons sont négligeables.

Le phosphore nécessaire aux poissons provient de leur alimentation et peut être d'origine animale (farine d'os, farine de poisson), végétale ou minérale. Cependant, le phosphore est très peu utilisable par les poissons (de 0 à 20 %) parce qu'ils n'ont pas l'enzyme phytase nécessaire pour le digérer (Lall, 1991 ; Dosdat, 1992b).

Le phosphore rejetéest le phosphore ingéré et non utilisé par le poisson. En effet, lorsque les poissons sont nourris avec des régimes contenant plus de phosphore que ce dont ils ont réellement besoin, ce phosphore dissous sera rejeté par les branchies et via l'urine (Sugiura et *al*., 2000).

Les rejets en phosphore soluble, pour leur part, sont directement liés à la proportion de phosphore disponible dans les régimes et les besoins de la truite arc-en-ciel. Dans notre expérience, ces rejets ont été très importants chez les poissons nourris avec l'aliment C contenant plus de phosphore.

Les résultats obtenus lors de cette étude concordent avec ceux obtenus par Abba (2011) sur La truite arc-en-ciel dont l'essai a révélé une fore concentration de rejets en phosphore par l'aliment C qui est le même aliment utilisé dans ce test comparatif.

L'aliment C contient un pourcentage en phosphore supérieur à 1% dans les trois stades d'élevage (alevinage, prégrossissement et grossissement) ; ceci peut influencer directement sur la carapace et sur le développement du squelette des poissons et sur la détérioration de milieu récépteur.

Kaushi (2000) a également montré que les poissons nourris avec un aliment riche en phosphore excrétent plus de phosphore qui peut affecter la quantité des eaux du milieu.

L'aliment de la truite arc-en-ciel qui présente une faible flottabilité s'effrite facilement au contact de l'eau et génère de grandes quantités de matières en suspension. En effet, au cours du processus de fabrication, la mauvaise cuisson de l'aliment le rend fragile et lorsqu'il est enrobé avec de l'huile, il donne des granulés mals formés et faciles à casser (kaushik, 2000). Ces explications de mal formation des granulés sont notées pour l'aliment C puisqu'après sa distribution, il coule au fond du bassin, se gonfle avec l'eau et commence à ce dégrader facilement, ce qui engendre une augmentation des matières en suspension qui ont atteignent 22 mg/l. Ces résultats sont compatibles avec ceux obtenus par Abba (2011) pour le même aliment C.

Malgré ces faibles concentrations, les forts débits des rejets piscicoles peuvent cependant amener une charge non négligeable localement dans le milieu récepteur, particulièrement si celui-ci est déjà enrichi.

Les orthophosphates qui présente un pic au niveau du point E2 peuvent être le principal facteur responsable des phénomènes d'eutrophisation et de dystrophisation du milieu (Ouellet, 1999).

La concentration des orthophosphates présente une corrélation positive avec la température et la salinité. Dans notre cas, la stabilité de la température et le pH agit positivement sur les variations des rejets.

Mantzavrakos et *al*.(2007) ont démontré que la répartition de l'ammoniaque peut être en relation avec la variation des paramètres physiques comme la température, la salinité et la densité de l'eau. D'un autre côté, ces concentrations élevées pourraient être dues à l'excès d'aliments et au métabolisme des poissons.

D'après les études de Kormas et *al*.(2000), les nitrates sont utilisés rapidement par le phytoplancton en été, ce qui explique la corrélation négative de la teneur des nitrates avec la température.

Les nitrates représentent la seconde cause du développement de l'eutrophisation. Dans la majorité des cas, le phosphore et les nitrates interviennent ensemble en eau douce et en eau salée fermées ou peu renouvelées. Dans notre cas, le débit de l'Oued est fort et le renouvellement d'eau dans les bassins est fréquent ce qui explique l'importante réduction des rejets.

Comme il est souvent cité dans la littérature (UMA Engineering, 1988 ; Stechey et Trudell, 1990 ; Westers, 1991 ; Cripps, 1994 ; Cripps et Kelly, 1995), il a été aussi observé dans notre étude que les effluents piscicoles sont facilement biodégradables et sont dilués par rapport à d'autres champs d'activité industrielle (Ouellet, 1998).

De plus, le dynamisme des cours d'eau peut avoir un effet sur la répartition des sels nutritifs(Pitta et *al*., 2005). Ces résultats corrobent ceux trouvés au niveau des points E3 et E4 où le fort débit de l'Oued a permis une dilution des rejets.

Ainsi, le pouvoir auto-épuratuer de l'oued Oum Er-Rbia l'emporte puisqu'on est en amont de l'Oued où les sources de pollution sont inexistantes et où la turbulence de l'eau est maximale (saturation en oxygène dissous).

3.4. Conclusion

La minimisation des rejets particulaires issus du système d'élevage est plus compliquée et aujourd'hui moins étudiée que celle des rejets liquides industriels et domestiques.

Le suivi de l'évolution de la qualité des eaux de sortie des bassins d'élevage de la truite arc-en-ciel a montré que les paramètres physico-chimiques varient dans les normes recommandées des rejets piscicoles.

Les analyses physico-chimiques des différents points de l'Oued Oum Er-Rbia (E1, E2, E3 et E4) montrent que la qualité physico-chimique de l'eau à l'aval de la station

de grossissement d'Oum Er-Rbia ne présente aucun trace de détérioration du milieu récepteur.

Il est connu que les effluents de pisciculture détériorent la qualité des eaux douces et que la présence excessive d'azote et de phosphore dans l'eau entraîne une eutrophisation des milieux. Ce n'est pas le cas de la station Oum Er-Rbia mais il est crucial d'élaborer des formulations alimentaires qui provoquent le moins de rejets azotés et phosphorés dans l'environnement.

Les résultats de suivi de l'impact des trois régimes testés (A, B et C) ne provoquent aucune trace de détérioration des eaux de l'Oued Oum Er-Rbia.

Partie II

Effets de trois aliments de différentes compositions biochimiques sur les performances zootechniques et la qualité du produit fini de la truite arc-en-ciel

- *Introduction*
- *Chapitre 1 : Matériel et méthodes*
- *Chapitre 2 : Effets des trois aliments sur les performances zootechniques de la truite arc-en-ciel.*
- *Chapitre 3 : Effets des trois aliments sur la qualité du produit fini*
- *Conclusion*

Partie II : Effets de trois aliments de différentes compositions biochimiques sur les performances zootechniques et la qualité du produit fini de la truite arc-en-ciel

INTRODUCTION

La pisciculture est définie comme «une exploitation ayant pour objet l'élevage de poissons destinés à la consommation, au repeuplement, à l'ornement, à des fins expérimentales ou scientifiques ainsi qu'à la valorisation touristique» (Code de l'environnement, 2015). La pisciculture fait partie intégrante de l'aquaculture qui comprend d'autres activités que sont la conchyliculture (élevage des coquillages), la carcinoculure (élevage des crustacés), la raniculture (élevage des grenouilles) et l'algoculture (élevage des algues). En tant qu'activité aquacole, la pisciculture est une activité agricole à part entière. La pisciculture comprend de la pisciculture continentale (en eau douce), la pisciculture marine (en eau de mer) et de la salmoniculture (élevage des salmonidés : truites, saumons, ombles, en eau douce et/ou en eau de mer).

Selon la FAO (2010), l'aquaculture reste le secteur de production d'aliment d'origine animale qui a connu durant les dernières décennies, un grand développement. Parmi les principaux facteurs qui ont contribué à l'expansion de ce secteur, nous citons est l'utilisation d'aliments artificiels (Kolditz, 2008).

En élevage, il est en effet possible de contrôler les paramètres d'élevage et environnementaux (température de l'eau, débit, qualité du milieu, etc.), ou encore alimentaires (taux de protéines, lipides, glucides, etc.) pour une durabilité de la production aquacole.

Contrairement aux mammifères, la nutrition des poissons présente certaines particularités puisqu'ils possèdent un stade larvaire et une croissance continue. Selon Kaushik (2000), l'alimentation représente 40 à 60% du coût de production des poissons d'élevage et sa composition doit avoir des taux élevés de farine de près de 70% de protéines digestibles et riches en acides aminés essentiels (Burel & Médale, 2014).

L'objectif de cette présente étude est d'étudier l'effet des trois aliments extrudés de composition biochimique différente bien connue sur les performances zootechniques de la truite arc-en-ciel ainsi que sur la qualité du produit fini.

Chapitre 1 : Matérielet Méthodes

1. Période d'étude

Ce travail a été réalisé durant le cycle de croissance et de grossissement de la truite arc-en-ciel. Dans ce but, nous avons fait grossir des truitelles de 40g, la taille moyenne finale atteinte est de 1000g. L'essai comparatif des trois aliments s'est déroulé pendant 222 jours (du 15 juin 2015 au 28 février 2016).

2. Matériel biologique

4574 truitelles (*Oncohronchys Mykiss*) de poids moyen de ± 40g issues du même lot d'œufs ont été réparties au hasard dans les six bassins décrits dans la première partie de ce rapport (BCA, BCB, BCC, BCD, B1 et B2).

Ces bassins ont été alimentés par l'eau de source ayant une température pratiquement constante de (14°C) avec un taux de renouvellement chaque demi-heure (soit un renouvellement de 48 fois par jour) et un pH de 7 à 8. Le taux de saturation d'oxygène est supérieure à 90 % avec une teneur moyenne de l'oxygène dissous dans les six bassins supérieure à 7 mg/l.

La densité des poissons au démarrage de l'essai est fonction du débit et des volumes des bassins.

Tableau 19 : Densité et nombre des truitelles dans chaque bassin d'essai

Bassins d'essais	BCA	BCB	BCC	BCD	B1	B2
Nombre des truitelles	300	300	300	300	1687	1687
Densité (kg /m^3)	1,52	1,55	1,54	1,55	1,61	1,62

L'essai a été réalisé en monoculture. Les poissons de chaque bassin reçoivent une ration alimentaire précise en fonction de la biomasse. Cette ration est déterminée en fonction de cycle de production. Pour cela, trois repas sont distribués à 8h, 11h et 14h lors du stade de pré-grossissementet deux repas au stade de grossissement à 8h et 14h. Ces rations ont été choisies en concertation avec le responsable de la station en se basant sur les informations recueillies des expériences antérieures.

Cette expérimentation a été réalisée avec trois aliments A,B et C. Les poissons de chaque deux bassins ont été nourris par le même aliment, en effet :

- Les bassins BCA et BCB par l'aliment A.
- Les bassins BCC et BCD par l'aliment B.
- Les bassins rectangulaires en béton B_1et B_2par l'aliment C.

3. Aliments testés

Trois aliments extrudés A, B et C de différentes compositions biochimiques ont été testés :

- Aliment A d'origine France
- Aliment B d'origine Danemark
- Aliment C d'origine Maroc

L'essai s'est déroulé dans les mêmes conditions d'élevage pour tous les bassins. L'aliment testé reste le seul facteur variable selon sa composition biochimique.

Dans chaque stade d'élevage, les poissons se nourrissent par un calibre d'aliment bien déterminé de 3mm pour le pré-grossissement (poisson de 40 à 100g), 4.5mm pour une taille de 100 à 500g et 6 à 8mm pour le grossissement (500-1Kg)

La composition biochimique des trois aliments testés, selon les trois fournisseurs, est donnée dans le tableau suivant.

Tableau 20 : Composition biochimique des trois aliments commerciaux testés (A, B et C).

Diamètre / éléments	A			B			C		
	3mm	4,5mm	6-8mm	3mm	4,5mm	6-8mm	3mm	4,5mm	6-8mm
Protéine Brute (%)	40	39	39	45	43	41	46	45	40
Lipide Brute(%)	23	27	27	20	22	24	20	24	26
ENA(%)	21	18,2	18,2	20	20,7	20,5	15	14	13
Fibre ou Cellulose(%)	2,25	1,86	1,8	1,9	1,9	2,3	1	1	1
Cendre(%)	7,20	6,77	6	8,1	7,4	7,2	10	10	10
Phosphate Total(%)	1,05	0,98	0,9	1	1	1	1,5	1,5	1,40
Azote Total (%)	-	-	-	0,2	0,2	0,2	-	-	-
Ca Total (%)	1,37	1,28	1,28	1,1	0,9	0,8	-	-	-
Sodium (%)	0,43	0,40	0,40	-	-	-	0.6	0.5	0.5
Energie Brute (Mj/Kg)	-	-	-	-	-	-	21,80	22,70	22,90
Energie Digestible (MJ/Kg)	19,2	20,2	20,2	20	20,3	20,6	19	19,90	20,50
Pd/Ed (g/MJ)	19	17,5	17,5	-	-	-	22,30	22,30	17,60
VITAMINES									
Vitamine A (Ul.Kg)	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Vitamine D3 (Ul.Kg)	1750	1750	1750	1000	1000	1000	1850	1850	1850
Vitamine E (Ul.Kg)	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Vitamine C (Ul.Kg)	150	150	150	-	-	-	180	180	180

4. Analyses biochimiques des trois aliments testés

Les analyses biochimiques (protéines, lipides et cellulose brute) et les analyses de lamatière sèche et des cendres ont été effectuées en duplicata selon les méthodes standard de l'AOAC (1990), et ont concernée les trois aliments testés.

- Les protéines brutes (% N*6,25) sont dosées par la méthode de Kjeldahl (auto-analyseur Kjel-foss),
- Les lipides par la méthode à chaud (type Soxhlet). Pour l'extraction des lipides, il a été utilisé un mélange de chloroforme:méthanol (2:1 v/v) selon la méthode de (Folch et *al*. 1957).
- La teneur en glucides, assimilée à l'extractif non azoté (ENA), par un calcul de différence à partir des valeurs trouvées pour les autres constituants de l'échantillon.
- La matière sèche est déterminée par mesure de la perte de poids après séchage durant 24 h à l'étuve à 105°C.
- Les cendres sont déterminées après incinération des échantillons au four à moufle à 550 °C pendant 12 heures.

5. Taux de nourrissage

Afin de comparer les différents paramètres zootechniques de la truite arc-en-ciel en condition iso-énergétique. L'essai expérimental est réalisé en condition iso énergétique selon la composition biochimique des trois aliments extrudés (A, B et C).

La quantité d'aliments distribuée est conforme aux tables de nourrissage des trois aliments extrudés qui ont des énergies digestibles (ED) différentes A=19,2 MJ /Kg, B=20 MJ /kg et C=19 MJ/kg (ces énergies ont été établies par les fournisseurs).

Selon la table de rationnement de l'aliment A (Annexe 1), il a été fixé des taux de rationnement relatif à la température du site qui est d'environ 14°C.

Tableau 21 : Transformation des trois aliments extrudés (A, B et C) en iso-énergie.

	Énergie d'aliment en pré-grossissemen (40-100g)	Taux de rationnement à 14°C	Taux de nourrissage en iso énergétique pour les trois aliments
Aliment A	19,2 MJ/Kg	1,65%	1,65%
Aliment B	20 MJ/Kg	(19,2/20)=0,96 0,96*1,65=1,58 %	1,58 %
Aliment C	19 MJ/Kg	(19,2/19)=1,010 1,010*1,65=1,67 %	1,67%

6. Ration et distribution de l'aliment

La détermination de la ration journalière se fait en fonction du taux de nourrissage et elle est réajustée selon le niveau de consommation. Tous les 15 jours, la ration est recalculée à partir du niveau de croissance théorique et celui mesuré en tenant compte des mortalités.

La ration journalière pesée est placée chaque matin vers 8h dans le réservoir d'aliment.

Les truites de pré-grossissement sont nourries à la main (ration préparée pour la journée dans un sac d'aliments) en trois repas par jour (8h, 11h et 14h).

7. Méthodes analytiques

7.1. Performances zootechniques

Les performances zootechniques des poissons nécessitent la détermination de la taille et du poids des poissons au cours de leur élevage. Les moyens de mesures sont :

- **Ichtyo-mètre**

Différentes normes relatives à la mensuration des espèces des poissons sont proposées (Agger et *al.*,1974 ; kesteven, 1974). Elles sont traduites en règle plus ou moins précise dans les manuels de référence.

L'ichtyo-métre est le principal instrument de mesure de la taille pour les poissons. Cette règle est constituée de graduations en mm et en cm, la mesure par défaut est la

longueur totale du point le plus avant de la tête, bouche fermée, jusqu'à l'extrémité de la queue. L'animal est posé à plat sur son flanc droit (Photo 4).

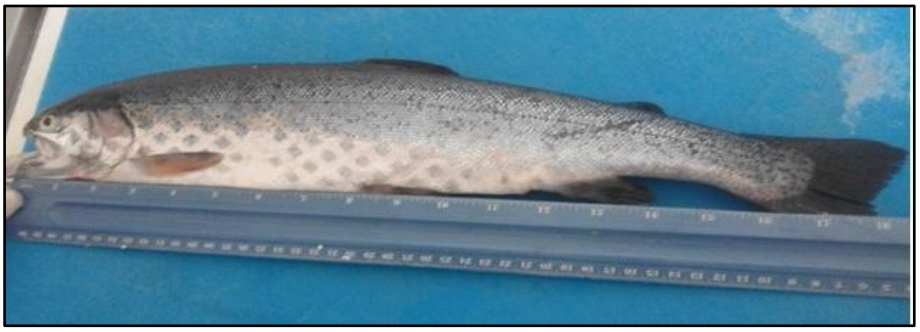


Photo 2 : Ichtyo-mètre

- **Balance électronique**

La mesure du poids des poissons en élevage est primordiale, elle permet d'estimer la variation de la biomasse de chaque bassin d'élevage en fonction des régimes alimentaires proposés. Cette mesure est effectuée par une balance électronique de marque Mettler Toledo avec une précision de 0,1g (Photo 5)

Photo 3 : Balance de mesure de marque Mettler Toledo

Pour estimer la croissance des poissons au cours de l'expérimentation et caractériser l'efficacité d'utilisation des aliments mis en essai, différents paramètres zootechniques ont été calculés:

a. Gain de poids (GP)

Ce paramètre permet d'évaluer la croissance pondérale des poissons pendant un temps donné par rapport au poids initial.

Le gain de poids est donné par la formule de Le Cren (1977).

$$G.P = \frac{\text{Poids moyen final (g)} - \text{Poids moyen initial (g)} * 100}{\text{Poids initial (g)}}$$

b. Indice de croissance (IC)

L'indice de conversion alimentaire est le ratio de nourriture consommée sur le gain de poids. Il doit être le plus bas possible, traduisant une bonne efficacité de l'aliment en question et sa bonne utilisation par le poisson. L'indice de conversion est donné par la formule de Bellet (1977).

$$IC = \frac{\text{Quantité d'aliment sec ingéré}}{\text{Gain de masse corporelle}}$$

c. <u>Taux de survie (TS)</u>

Le taux de survie est calculé à partir du nombre total de poissons à la fin de l'expérience et de l'effectif en début d'élevage selon la relation ci-dessous :

$$TS(\%) = \frac{\text{Nombre de poissons final} * 100}{\text{Nombre de poissons initial}}$$

d. <u>Croissance individuelle journalière (CIJ)</u>

Appelée encore gain de poids quotidien, cet indice permet d'apprécier le gain de poids journalier des poissons en élevage. Il est déterminé à partir de la relation ci – dessous :

$$CIJ\,(g/j) = \frac{\text{poids final (g) - poids initial (g)}}{\text{durée d'élevage (j)}}.$$

e. <u>Taux de croissance spécifique(TCS)</u>

Ce coefficient permet d'évaluer le poids gagné par le poisson chaque jour, en pourcentage de son poids vif. La formule utilisée est celle donnée par Brett et *al*.(1969).

$$\text{Taux de croissance spécifique } (\%j) = \frac{(\ln(\text{poids final}) - \ln(\text{poids initial}))*100}{\text{Durée de l'expérience}}$$

f. <u>Coefficient de condition(k)</u>

Le facteur ou coefficient de condition K est défini par le rapport entre le poids et la taille du poisson. Il renseigne sur la condition physique du poisson.

Le facteur de condition (K) réfère à l'état de chair des poissons. Cette mesure permet donc d'évaluer si le poisson est en excellente état (K = 1,60), bon (K = 1,40), acceptable (K =1,20), mauvaise (K = 1,00) outrès mauvais état (K = 0,80) (Barnham et *al*.,1998).

K est donné par la formule de Tesch et *al*. (1971) :

$$(K) = 100\, W/L^3$$

W : poids (g)

L : longueur (mm)

8. Méthode d'échantillonnage

Le poids moyen des poissons initiaux est de± 40g et le poids final attendu est d'environ 1000g au cours de 222 jours d'alimentation. Afin d'évaluer la croissance, les lots de truites ont été échantillonnés, dénombrés et pesés tous les 15 jours .

La mortalité de chaque bassin d'essais est dénombré et relevée quotidiennement.

Chaque 15 jours, les poissons pris de chaque bassin ont été anesthésiés par le phénoxy-2-éthanol à raison de 5ppm à jeûn afin d'effectuer le calcul des performances zootechniques de croissance. En effet, nous avons réalisé les mesures de poids, de biomasse et de la taille de poisson, ces paramétres ont permis le calcul du taux de croissance spécifique, de l'indice de conversion, du taux de survie et du gain de poids. Les paramètres morphométrique sont été mesurés une fois pour chaque stade d'élevage lors du changementdu calibre de l'aliment (3 ; 4,5 et 8mm).

Pour le stade de pré-grossissement (40-100g) où les poissons sont nourris par un aliment de calibre 3 mm, une moyennede 20 truitelles sont pesées pour le calcul des indices zootechniques.

A la fin de chaque stade d'élevage, un échantillon de 90 truites a été prélevé au hasard dans chaque bassin selon la loi de Student (prélèvement d'environ le tiers des truites dans les bassins). Les truites sont pesés individuellement puis éviscérées. Les viscères et le foie sont pesés séparément pour le calcul des paramètres morphométriques.

9. Evaluation de la quantité d'aliment ingére par les poissons

Les quantités d'aliments distribuées ont été pesées pour estimer la consommation par les poissons entre deux échantillonnages (Annexe 2).

Comme il a été signalé, les poissons mis en expérience ont été nourris à chaque repas d'un aliment commercial sous forme de granulés secs de 3 mm jusqu'au poids de 100g , 4.5 mm jusqu'à 500 g et 7mm jusqu'à 1000g.

Photo 4: Échantillonnage des poissons au stade de pré-grossissement (40-100g)

Photo 5 : Échantillonnage des poissons au stade de grossissement (500-1000g).

10. Dispositif expérimental de transformation des truites en filets

Dans la station piscicole de l'élevage de la truite arc-en-ciel à Azrou, nous nous sommes intéressés à l'effet de trois types d'aliments extrudés (A, B et C) avec différents taux de lipides sur la qualité biochimique du filet du poisson et la saumonisation du produit fini.

Nous avons utilisé 30 truites (10 truites alimentées par chaque type d'aliment) nourries pendant 222 jours avec trois aliments extrudés contenant des taux de lipides différents (A=27%), (B=24%) et (C=26%) et un taux de pigmentation de 40 mg/kg pour les aliments A et B et nul pour l'aliment C.

Les poids moyens de chaque lot à la fin de l'expérience sont respectivement A=883,14g ; B=1043,9 g et C=942,1g. Ces poids sont favorables pour la transformation en filets.

a. Préparation à l'abattage

Les poissons sont soumis à une longue diète pendant une période de trois jours. Une mise à la diète des truites est habituelle pour que le tube digestif se vide avant l'abattage afin d'éviter le gaspillage d'aliments et d'augmenter la qualité et la fraîcheur du poisson.

b. Abattage

Les poissons utilisés ont été pêchés sans être anesthésiés, saignés au niveau de l'arc branchial et déposés dans un bassin contenant de l'eau pendant 15 minutes pour permettre l'élimination totale du sang du corps et le lavage du poisson (Fig. 39).

Photo 6 : Abattage des poissons.

c. Étêtaget éviscération

Les truites sont pesées individuellement avant et après éviscération, avec pesages des viscères et du foie afin de calculer les paramètres morphométriques.(Fig. 40) et sont entreposées en chambre froide entre 0 -4°C jusqu'à leur transformation.

Une grande attention est donnée à ces deux opérations puisqu'elles représentent une source de contamination. Les manipulations peuvent répandre le sang, le mucus et les bactéries des viscères sur les parties fraîchement découpées et à l'intérieur de la cavité abdominale.

Photo 7 : Éviscération des poissons.

d. Filetage

Cette étape permet de couper le poisson en deux filets après élimination des viscères, de la peau et de la tête (Fig. 41).

Photo 8 : Filetage de la matière première.

A l'aide d'une règle salmo Fan ^{Tm} Lineal, for salmonids pigmented with corophyll Pink (Astaxanthin), le degré de saumonisation a été mesuré sur le produit fini (Fig. 42).

Photo 9 : Degré de saumonisation de la matière première.

Les poissons nourris par les trois aliments A, B et C subissent les étapes de transformation du produit finit en passant par le salage, séchage et fumage .

e. Salage

Cette opération, très importante pour le devenir du produit, contribue à éliminer une partie de l'eau de constitution.

Le salage provoque un raffermissement des chairs, empêche la décoloration et confère un certain goût au poisson, il ralentit seulement la croissance bactérienne, sans empêcher l'altération de se produire.

Photo 10: Salage des filets des truites.

f. Rinçage

Le rinçage est effectué sur les filets des trois échantillons (A, B et C), de façon uniforme. Le rinçage se fait à l'aide d'un tuyau d'arrosage sans retirer les filets du chariot. Il est effectué de façon légère afin d'éviter le dessalage rapide et la formation de cristaux de sel en surface des filets.

Photo 11 : Rinçage des filets de truites.

g. Égouttage

L'égouttage a pour but de réduire la quantité de l'eau et la durée de séchage.

h. Séchage

Il s'effectue uniquement avant le fumage. Le séchage apour but de réduire la teneur en eau afin de favoriser la conservation du produit ayant préalablement subi un salage.

i. Fumage

La truite légèrement salée, séchée est soumise un certain temps à l'action de la fumée provenant de la combustion du bois (particules du bois de Hêtre importé de la France) spécialement pour le fumage.

Pendant, cette phase, la truite continue à se déshydrater en même temps qu'il s'imprègne des composés volatils de la fumée.

Le fumage, au goût actuel, est très léger et a deux types d'actions, la premiére antioxydante et la seconde bactériostatique.

j. Dégustation

Le test est porté sur des aspects de sensibilisation du personnel surtout de la commercialisation à certaines notions d'analyse sensorielle et en particulier aux principales caractéristiques organoleptiques des produits (aspect visuel, odeur, goût et texture).

Photo 12 : Essai de dégustation des trois produit fini (A, B et C).

k. Système d'acquisition des données

Chaque dégustateur dispose d'un questionnaire permettant la saisie des réponses des dégustations pour chaque échantillon (PFA, PFB et PFC).

Trois échantillons sont alors présentés. Chaque personne doit de remplir le questionnaire en indiquant en face du numéro de l'échantillon ces paramètres (aspect visuel, odeur, goût et texture) avec une qualité de chaque aspect allant de 1 à 9 (Fig. 46, Tableau. 22).

1. Produit extrêmement agréable (Bon, Plaisant)
2. Produit très agréable
3. Produit agréable
4. Produit plutôt (assez) agréable
5. Produit ni agréable ni désagréable
6. Produit plutôt assez désagréable
7. Produit désagréable
8. Produit trés désagréable
9. Produit extrêmement désagréable

Figure 32 : Échelle hédonique à 9 points (AFNOR, 2000)

Tableau 22 : Questionnaire des paramètres sensoriels.

Notation / Code	Caractéristiques sensoriels	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Moyenne
EB	Visuel										
	Odeur										
	Gout										
	Texture										
EA	Visuel										
	Odeur										
	Gout										
	Texture										
EC	Visuel										
	Odeur										
	Gout										
	Texture										

11. Analyses biochimiques de la chair de poissons nourris par les trois aliments testés.

Les différentes analyses biochimiques des aliments et des poissons entiers ont été effectuées selon les mêmes protocoles (AOAC,1990). Les analyses de la composition corporelle ont été réalisées sur les poissons entiers congelés, broyés et lyophilisés. Chaque échantillon a été finement broyé et homogénéisé puis envoyé au laboratoire pour l'analyse de la composition biochimique (Humidité, protéines, lipides, glucides et des acides gras).

***Photo 13 : Échantillons de trois produits finis destinés au laboratoire d'analyse*.**

12. . Paramètres morpho-métriques.

Plusieurs paramètres sont étudiés pour évaluer la qualité morphométrique et la saumonisation de produit fini.

***Tableau 23 : Paramètres morphométriques étudiés pour les trois échantillons A, B et C*.**

Paramètres morphométriques	
Indice Hépato-somatiques (IHS, %)	=Poids du Foie (g)*100/Poids corporel
Indice viscéro-somatique (IVS, %)	=Poids du viscère (g)*100 / Poids Corporel
Rendement de filetage (R.F%)	R.F=Poids du filet/Poids du poisson total
Rendement à l'éviscération (R.E%)	R.E=Poids du poisson éviscéré /poids du poisson totale
Saumonisation	Règle salmo Fan Tm Lineal, for salmonids pigmented with corophyll Pink (Astaxanthin)

13. Composition biochimique des aliments étudiés selon la fiche technique des fournisseurs.

Le tableau 24 illustre la composition biochimique en protéines, lipides et en acides gras des trois aliments testés selon les fiches techniques des fournisseurs.

Tableau24 : Pourcentage de la composition biochimique des régimes expérimentaux selon les trois fournisseurs.

	Régimes expérimentaux		
Composition	Aliment A	Aliment B	Aliment C
Protéines (%)	39	41	40
Lipides (%)	27	24	26
Acides gras saturés (%)	16	-	-
Acide gras W3	17	-	17,5
Acide gras W6	14	-	15
Acide gras W3/W6	1,2	-	1
EPA +DHA	11	-	8
Pigmentation(40mg/kg) (Astaxanthine)	40	40	-

13. Analyse statistique

Les données de cette expérience ont été analysées par SPSS pour les variables mesurées durant la période d'élevage (Masse moyenne initiale, masse moyenne finale, IC, TGC, SGR, FC).

Les différences significatives ont été établies à l'aide de test de Tukey ($p < 0,05$).

Chapitre 2 : Effets des trois aliments testés sur les performances zootechniques de la truite arc-en-ciel.

1. Introduction

La consommation mondiale de poissons par habitant a augmenté en passant de 9 kg en 1961 à 16,5 kg en 2003 kg età 20,2 kg en 2015 (FAO, 2018).Il a été remarqué que la production mondiale de la pêche de capture et l'aquaculture ont produit en 2016 environ 90,9 millions de tonnesde poissons destinés à l'alimentation (FAO, 2018).

Il a été noté une augmentation moyenne d'environ 1,5 % par an de 1961 à 2015. Cependant, les estimations concernant 2016 et 2017 font apparaître une hausse avec une consommation de 20,3 kg et 20,5 kg respectivement.

L'aquaculture connaît un essor fulgurant. La tendance actuelle est à l'intensification de l'élevage de poissons par l'utilisation d'aliments artificiels.

En condition d'élevage intensif, l'alimentation doit apporter tous les éléments nutritifs indispensables à la croissance et au maintien de l'espèce élevée, assurer une croissance optimale tout en garantissant un produit sain, de qualité. Ces aliments doivent être disponibles avec un coût stable et modéré. Toutefois, il faut limiter les rejets d'origine alimentaire (N et P).

Les objectifs de cette présente étude réalisée au sein de la station de pisciculture de grossissement d'Oum Er-Rbia est de comparer les trois aliments extrudés (A, B et C) ayant une formulation nutritionnelle, une composition biochimiqueet une énergie différentes. Cette comparaison effectuée en condition iso énergétique sur les performances zootechniques durant les trois stades de grossissement (40, 100 et 500g) de la truite arc-en-cie pour objectif global d'atteindre une meilleure utilisation de l'aliment performant au terme de la croissance et indice de conversion optimal.

Il est important de rappeler que les analyses biochimiques des aliments et leurs interprétationsont pour but de ressortir les tendances et aider les éleveurs à trouver un aliment performant regroupant tout les besoins et les exigences de la truite arc-en-ciel.

2. Résultats

2.1. Analyse biochimique des trois aliments étudiés

L'analyse biochimique des trois aliment (A, B et C) a permis de vérifier la composition réelle de l'aliment et de lacomparer avec celle donnée dans la fiche technique des fournisseurs.

L'humidité, les teneurs en cendres, en protéines brutes, en lipides brutes, en phosphore et en énergie ont été analysées pour les 3 aliments.

Le Tableau 25 présente les résultats des analyses effectuées au laboratoire et les valeurs fournies par les fabricants pour chaque aliment étudié.

L'intérêt de cette présente étude est de comparer les compositions des aliments déclarées par les fournisseurs et les analyses effectuées au laboratoire dont le but est de déterminer l'énergie réelle de chaque aliment (A, B et C) et de démarrer le test comparatif avec des conditions iso énergétique.

Tableau 25 : Analyses biochimiques des trois aliments (A, B et C) selon la composition déclarée dans la fiche technique des fournisseurs et les analyses effectuées au laboratoire

Aliments	Aliment A		Aliment B		Aliment C	
Paramètres	Valeurs fournisseur	Analyse laboratoire	Valeurs fournisseur	Analyse laboratoire	Valeurs fournisseur	Analyse laboratoires
Humidité (%)	10	5,96	10	5,93	10	5,55
Cendres(%)	6	6,60	7,2	8,09	10	8,67
Protéine N *6,25 (%)	39	37,88	41	39,31	40	37,88
Lipides (%)	27	21,95	24	21,10	26	23,55
Glucides (%)	18,2	27,61	20,5	25,57	13	24,35
Phosphore Total (%)	0,9	0,88	1	1,11	1,40	1,42
Fibres Totales(%)	1,8	7,4	2,5	7,3	1	4,5
Valeur énergétique (Mj/kg)	20,2	19,25	20,6	18,84	22,90	19,29

Les tableaux 26, 27 et 28 présentent les performances zootechniques de la truite arc-en-ciel durant tout le cycle de croissance selon les différents régimes évalués (A, B et C) et selon une fréquence bimensuelle.

Tableau 26 : Performances zootechniques étudiées chez les truites nourris par l'aliment A pendant 222 jours

Mois	Débit (m^3/h)	Volume (m^3)	Densitè (Kg/m^3)	Moyenne de poids (g)	Ecart-type (g)	Aliment Consommé (kg)	Coefficient de variation(%)	Charge ($Kg/m^3/h$)	Perte en nombre	Nbr de poissons	Biomasse (kg)	Nobre jour entre pesée	GP (Gain de poids entre pesée)	TN Reel % (Taux de nourissage/jour)	TCS % (Taux de croissance spécifique)	IC (indice de conversion)	TS %(Taux de survie)	Calibre d'aliment (mm)
15-juin	23,48	16	1,5	41,05	2,05	dèmarage	5,0%	1,05	dèmarage	600	24,6	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage
30-juin	23,48	16	2,1	56,65	3,44	6,09	6,1%	1,44	3,0	597	33,8	15	9,19	1,65%	2,1%	0,7	99,5%	3
15-juil	23,48	16	2,7	73,54	2,06	7,26	2,8%	1,87	0,0	597	43,9	13	10,08	1,65%	2,0%	0,7	100,0%	3
31-juil	23,48	16	3,4	92,66	7,40	12,31	8,0%	2,34	5,0	592	54,9	17	10,95	1,65%	1,4%	1,1	99,2%	3
31 Aout	23,48	16	5,2	143,28	20,38	22,82	14,2%	3,54	12,0	580	83,1	25	28,25	1,66%	1,7%	0,8	98,0%	3
30-sept	23,48	16	6,4	192,31	25,07	22,79	13,0%	4,37	47,0	533,0	102,5	18	19,40	1,52%	1,6%	1,2	91,9%	4,5
15-oct	23,48	16	7,4	224,10	27,07	17,80	12,1%	5,05	4	529	118,5	14	16,05	1,24%	1,1%	1,1	99%	4,5
30-oct	23,48	16	8,5	256,97	33,00	19,00	12,8%	5,79	0	529	135,9	14	17,39	1,14%	1,0%	1,1	100%	4,5
15-nov	23,48	16	10,2	308,02	38,02	20,95	12,3%	6,93	1	528	162,6	14	26,70	1,10%	1,3%	0,8	99,79%	4,5
30-nov	23,48	16	12,1	366,66	42,26	32,36	11,5%	8,25	0	528	193,6	15	30,96	1,33%	1,2%	1,0	100,00%	4,5
15 Dec	23,48	16	14,1	428,44	45,90	30,20	10,7%	9,60	2	526	225,4	14	31,76	1,11%	1,1%	1,0	99,59%	7
31 Dec	23,48	16	16,2	495,00	85,67	33,73	17,3%	11,05	2	524	259,4	13	34,02	1,15%	1,1%	1,0	99,58%	7
31-janv	23,48	16	21,0	654,89	78,34	94,24	12,0%	14,34	10	514	336,6	28	77,23	1,30%	1,0%	1,2	98,18%	7
15 Fèv	23,48	16	23,2	721,24	98,59	40,39	13,7%	15,79	0	514	370,7	12	34,10	1,00%	0,8%	1,2	100,00%	7
28 Fèv	23,48	16	25,8	803,14	80,00	43,81	10,0%	17,55	1	513	412,0	10	41,29	1,18%	1,1%	1,1	99,82%	7

Tableau 27 : Performances zootechniques étudiées chez les truites nourries par l'aliment B pendant 222 jours.

Mois	Débit (m^3/h)	Volume (m^3)	Densitè (Kg/m^3)	Moyenne de poids (g)	Ecart-type (g)	Aliment Consommé (kg)	Coefficient de variation(%)	Charge ($Kg/m^3/h$)	Perte en nombre	Nbr de poissons	Biomasse (kg)	Nobre jour entre pesée	GP (Gain de poids entre pesée)	TN Reel % (Taux de nourissage/jour)	% Par rapport à l'aliment A	TCS % (Taux de croissance spécifique)	IC (indice de conversion)	TS %(Taux de survie)	Calibre d'aliment (mm)
15-juin	23,48	16	1,5	41,15	2,09	dèmarage	5%	1,05	dèmarage	600	24,7	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage
30-juin	23,48	16	2,1	56,80	1,25	5,86	2%	1,44	3,00	597	33,9	15	9,22	1,58%	96%	2,1%	0,6	99,5%	3
15-juil	23,48	16	2,7	73,05	3,63	6,98	5%	1,85	1,00	596	43,5	13	9,63	1,58%	96%	1,9%	0,7	99,8%	3
31-juil	23,48	16	3,5	96,14	4,13	11,72	4%	2,41	7,0	589	56,6	17	13,09	1,58%	96%	1,6%	0,9	98,8%	3
31 Aout	23,48	16	5,4	147,22	20,25	22,69	14%	3,65	7,0	582	85,7	25	29,05	1,60%	96%	1,7%	0,8	98,8%	3
30-sept	23,48	16	7,0	192,15	24,80	22,47	13%	4,78	3,0	579,0	111,3	18	25,57	1,46%	96%	1,5%	0,9	99,5%	4,5
15-oct	23,48	16	8,4	234,00	28,93	18,50	12%	5,73	4,0	575,0	134,6	14,0	23,30	1,19%	96%	1,4%	0,8	99,3%	4,5
30-oct	23,48	16	10,4	286,85	34,08	20,80	12%	7,02	0	575,0	164,9	14,0	30,39	1,10%	96%	1,5%	0,7	100,0%	4,5
15-nov	23,48	16	12,4	345,85	40,13	24,50	12%	8,47	0	575	198,9	14	33,93	1,06%	96%	1,3%	0,7	100,00%	4,5
30-nov	23,48	16	15,1	421,8	57,55	37,95	14%	10,31	1	574	242,1	15	43,22	1,27%	96%	1,3%	0,9	99,82%	4,5
15 DEC	23,48	16	17,9	501,1	63,77	36,10	13%	12,23	1	573	287,1	14	45,05	1,07%	96%	1,2%	0,8	99,82%	8
31 DEC	23,48	16	20,8	580,7	74,84	41,24	13%	14,15	1	572	332,2	13	45,03	1,10%	96%	1,1%	0,9	99,82%	8
31-janv	23,48	16	29,7	831,6	103,71	115,80	12%	20,26	0	572	475,7	28	143,52	1,25%	96%	1,3%	0,8	100,00%	8
15 Fev	23,48	16	33,1	928,3	118,79	54,97	13%	22,58	1	571	530,1	12	54,38	0,96%	96%	0,9%	1,0	99,83%	8
28 Fev	23,48	16	37,2	1043,9	126,76	59,96	12%	25,34	1	570	595,0	10	64,93	1,13%	96%	1,2%	0,9	99,82%	8

Tableau 28 : Performances zootechniques étudiées chez les truites nourries par l'aliment C pendant 222 jours

Mois	Débit (m^3/h)	Volume (m^3)	Densitè (Kg/m^3)	Moyenne de poids (g)	Ecart-type (g)	Aliment Consommé (kg)	Coefficient de variation(%)	Charge (Kg/m^3/h)	Perte en nombre	Nbr de poissons	Biomasse (kg)	Nobre jour entre pesée	GP (Gain de poids entre pesée)	TN Reel % (Taux de nourissage/jour)	% Par rapport à l'aliment A	TCS % (Taux de croissance spécifique)	IC (indice de conversion)	TS %(Taux de survie)	Calibre d'aliment (mm)
15-juin	153,02	90	1,7	44,65	2,24	dèmarage	5%	0,98	dèmarage	3374	150,6	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage	dèmarage
30-juin	153,02	90	2,2	58,80	1,81	37,70	3%	1,30	0,00	3374	198,4	15	47,74	1,67%	101%	1,8%	0,8	100%	3
15-juil	153,02	90	2,7	73,19	2,33	42,92	3%	1,61	1,00	3373	246,9	13	48,48	1,66%	101%	1,7%	0,9	100,0%	3
31-juil	153,02	90	3,3	89,17	3,47	69,85	4%	1,96	8,0	3365	300,1	17	53,18	1,66%	101%	1,2%	1,3	99,8%	3
31 Aout	153,02	90	4,9	132,68	23,05	126,15	17%	2,90	20,0	3345	443,8	25	143,77	1,68%	101%	1,6%	0,9	99,4%	3
30-sept	153,02	90	6,7	180,55	28,21	123,20	16%	3,93	18,0	3327,0	600,7	18	156,86	1,54%	101%	1,7%	0,8	99,5%	4,5
15-oct	153,02	90	8,2	222,80	36,99	105,20	17%	4,84	4,0	3323,0	740,4	14,0	139,67	1,25%	101%	1,5%	0,8	99,9%	4,5
30-oct	153,02	90	9,9	267,50	44,94	119,70	17%	5,81	1	3322,0	888,6	14,0	148,27	1,15%	101%	1,3%	0,8	100,0%	4,5
15-nov	153,02	90	11,9	322,35	47,49	138,26	15%	6,99	6	3316	1068,9	14	180,28	1,11%	101%	1,3%	0,8	99,82%	4,5
30-nov	153,02	90	14,8	402,5	65,23	213,94	16%	8,72	1	3315	1334,3	15	265,37	1,33%	101%	1,5%	0,8	99,97%	4,5
15 dec	153,02	90	17,7	481,9	79,53	209,67	17%	10,42	8	3307	1593,8	14	259,49	1,12%	101%	1,3%	0,8	99,76%	7
31 Dec	153,02	90	19,9	542,8	103,22	241,44	19%	11,70	8	3299	1790,8	13	197,02	1,17%	101%	0,9%	1,2	99,76%	7
31-janv	153,02	90	26,7	732,5	106,53	654,18	15%	15,72	15	3284	2405,4	28	614,57	1,30%	101%	1,1%	1,1	99,55%	7
15 Fev	153,02	90	29,9	822,5	161,15	290,91	20%	17,61	7	3277	2695,4	12	290,07	1,01%	101%	1,0%	1,0	99,79%	7
28 Fevrier	153,02	90	34,2	942,1	130,20	321,79	14%	20,14	6	3271	3081,5	10	386,06	1,19%	101%	1,4%	0,8	99,82%	7

2.2. Performances de croissance

2.2.1. Croissance

Le tableau 29 illustre les performances de croissance de la truite arc-en-ciel selon les régimes (A, B et C) tout au long de la période de grossissement.

Tableau 29 : Performances de croissance de la truites arc-en-ciel alimentée avec les trois régimes expérimentaux (A, B et C).

Paramètres	A			B			C		
	3mm	4,5mm	7mm	3mm	4,5mm	7mm	3mm	4,5mm	7mm
Poids initial (g)	41,05	192,31	428,4	41,15	192,15	501,1	44,65	180,55	481,95
Poids final(g)	143,28	366,66	803,14	147,22	421,8	1043,9	132,68	402,5	942,1
Gain de poids (g)	102,23	174,35	374,47	106,07	229,65	542,8	88,03	221,95	460,15
Taux de croissance spécifique %	1,7	1,2	1,1	1,9	1,4	1,1	1,6	1,5	1,1
Taux de survie (%)	98	100	99,82	98,8	99,82	99,82	99,4	99,97	99,2
Indice de conversion	0,8	1,0	1,1	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
Facteur de condition	1,2	1,22	1,27	1,27	1,45	1,61	1,08	1,28	1,03

Les trois régimes expérimentaux A, B et C étaient bien acceptés par les poissons. La température de l'eau au cours de cette expérimentation était optimale (13,9 à 14,1°C) pour une meilleure croissance partielle.

A la fin de l'essai expérimental des trois aliments étudiés, les poids finaux des poissons sont compris entre 803,14g ; 1043,9g et 942,1g respectivement pour les régimes A, B et C. Le test de Tukey montre qu'il n'ya pas de différence significative entre les poids finaux (P>0.05), le gain de poids était de 374.47 pour l'aliment A alors qu'il est de 542.28 et 893.15 pour l'aliment B et C. L'analyse statistique a montré une différence significative entre les valeurs des trois régimes (P<0,05).

Les taux de croissance spécifique calculés sont de 1,1% ; 1,2% et 1,4% respectivement chez les poissons nourris avec le régime A, B et C. Le test statistique montre que la différence et non significative (P>0,05).

Les résultats trouvés pour le facteur de condition n'ont montré aucune différence significative (P > 0,05) entre les trois régimes évalués. En revanche, le régime alimentaire B présente un excellent facteur de condition avec K_b=1,61 par rapport aux deux autres régimes.

L'indice de conversion alimentaire montre que les régimes B et C sont plus efficaces que le régime A. Le meilleur taux de conversion observé est celui du régime extrudé B avec IC_b=0,91.

Les poissons recevant le régime extrudé B se distinguent par une meilleure croissance pondérale et une conversion alimentaire maximale.

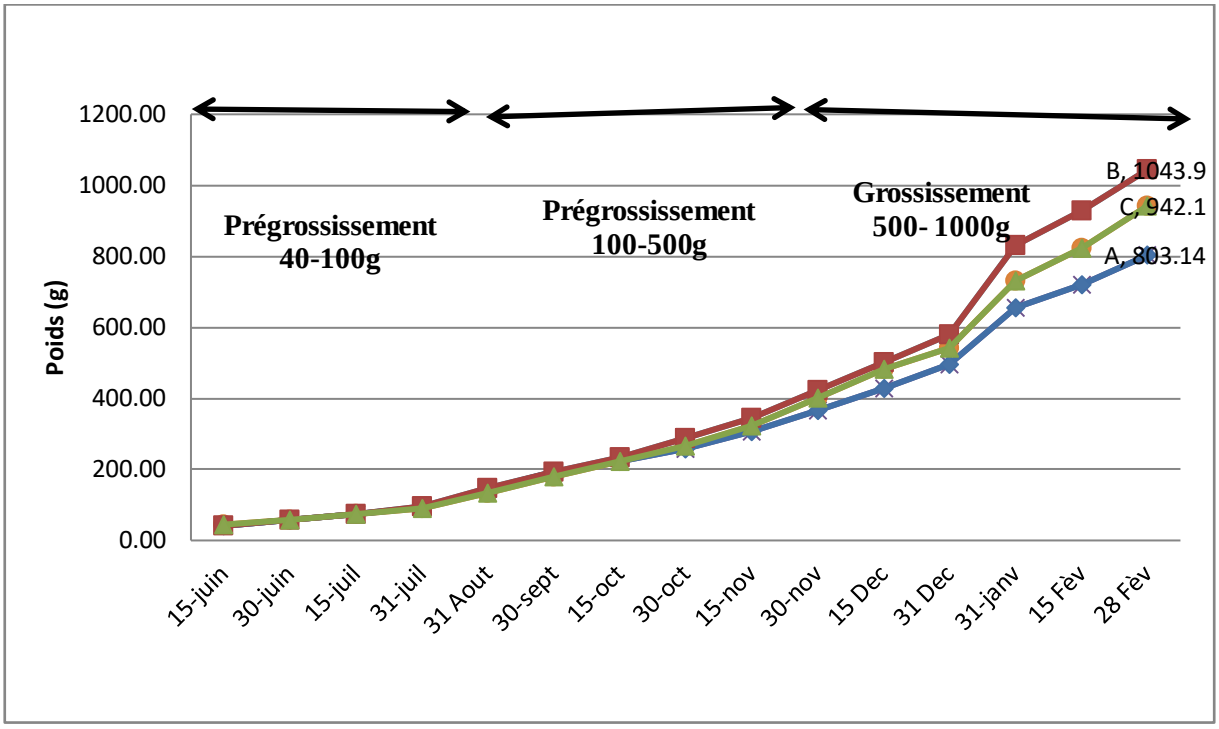


Figure 33 : Croissance de la truite arc-en-cielnourrie par les aliments A, B et C.

Au départ de l'expérimentation(de juin à décembre), la croissance est presque la même dans les premiers stades d'élevage (40- 100g et 100- 500g) pour les trois régimes. Au stade de grossissement (500-1000g) les poissons commencent à se nourrir par des aliments de grande taille avec une granulométrie de 7 mm. A ce niveau, une évolution remarquable de la croissance de poissons nourris par les trois régimes (A, B et C) a été noté particulièrement par l'aliment B.

La croissance pondérale est un incidence majeur de la production. Elle reflète l'efficacité de l'aliment en production de masse. Pour cette raison, un suivi régulier de la mesure du poids des truites a été réalisé tout au long de l'essai expérimental.

L'évolution du poids moyen des truites arc-en-ciel nourries par les trois types d'aliments iso énergétiques durant les 222 jours est donnée dans la Figure 48 montrant que l'aliment B est le meilleur aliment au terme de croissance avec une croissance maximale de 1043,9g.

2.3.2. Survie

La mortalité des poissons nourris avec les deux aliments A et C est significativement supérieure (Tabl. 30). Cette mortalité serait probablement liée aux conditions hygiéniques des bassins d'élevage (retard du nettoyage des bassins à cause des mauvaises conditions climatiques).

Les truites nourries par les aliments A et C subissent une attaque bactérienne dès le début de mois de septembre ce qui a provoqué la mortalité progressive au niveau des bassins.

Tableau 30 : Mortalités des truites arc-en-ciel nourries avec les trois aliments durant 222 jours

Aliments	A	B	C
Mortalités	87,0 ± 6,3	26 ±2,14	103±7,36

Les échantillons des truites attaquées par la ou les bactérie(s) sont disséqués pour visualiser les organes attaqués par cette bactérie causant la mortalité (Photo 14).

L'observation microscopique montre l'existence d'une bactérie de la famille des Flavobacteriaceae, genre *Flavobaterium* qui se caractérise par des filaments sous forme de bâtonnets (Kritihi et *al.*, 2017). C'est une bactérie qui est présente dans les eaux douces où la température est faible.Elle est connue par son effet agressif et cause ce qu'on appelle «maladie de froid»

Photo 14 : Attaque bactérienne de la truite arc-en-ciel

2.3.3. Indice de conversion

Les figures ci-dessous montrent la variation de l'indice de conversion en fonction de la croissance des truites alimentées par les aliments A, B et C. L'évaluation de la conversion alimentaire permet de déterminer avec quelle efficacité les truites élevées transforment les aliments ingérés en gain de masse.

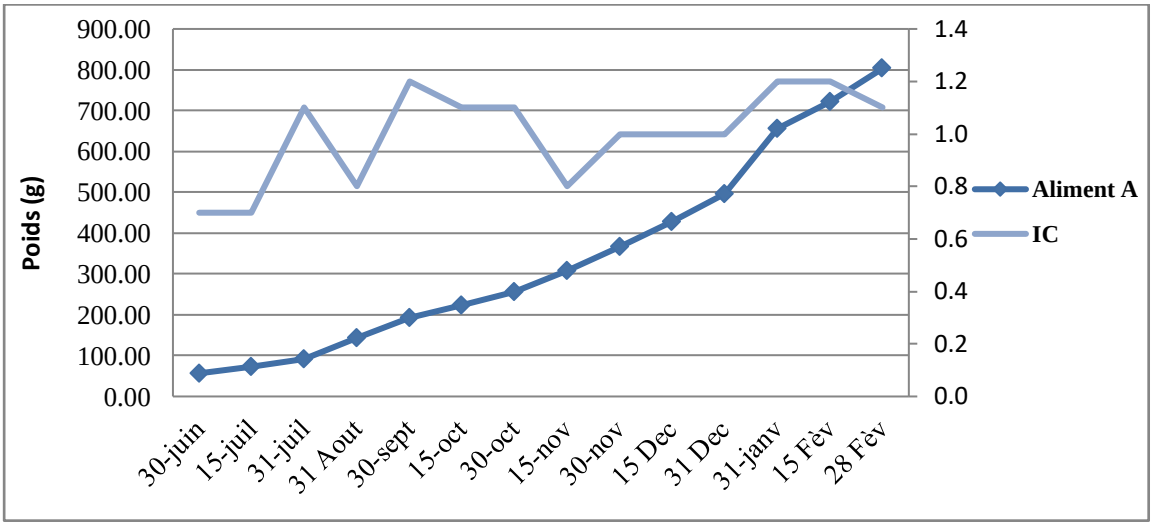


Figure 34 : Variation de l'indice de conversion pour l'aliment A

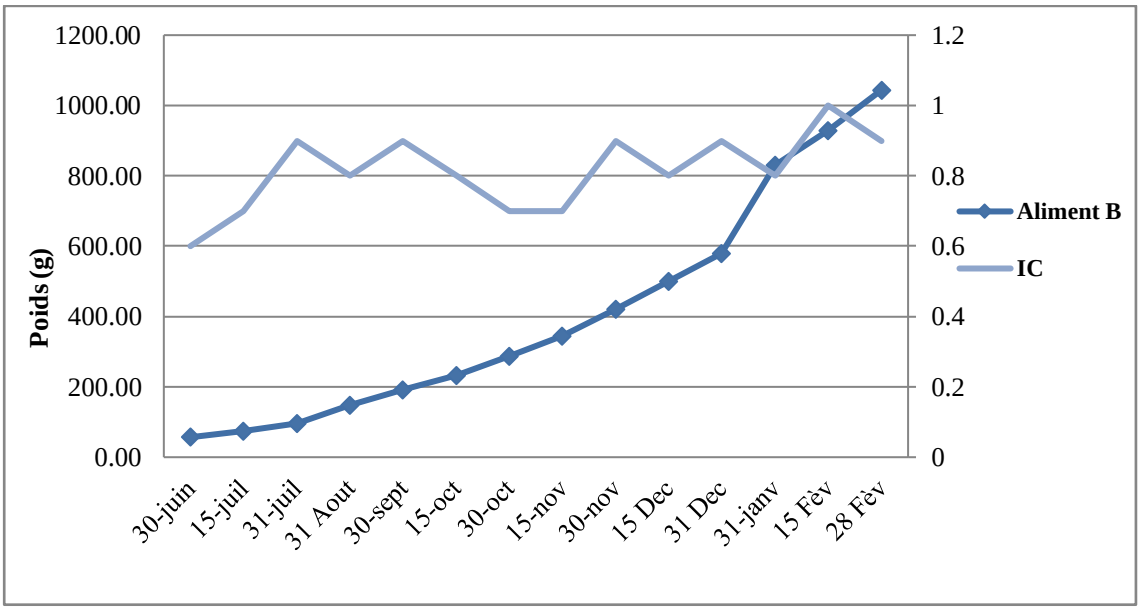


Figure 35 : Variation de l'indice de conversion pour l'aliment B

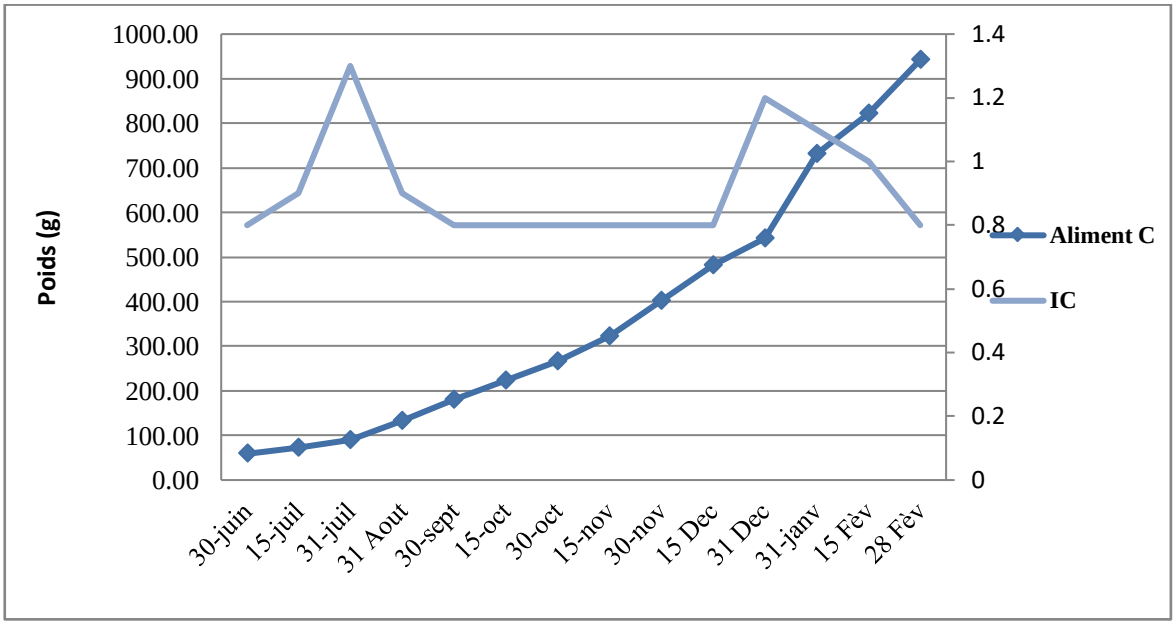


Figure 36 : Variation de l'indice de conversion pour l'aliment C

Les résultats montrent que l'indice de conversion (IC) chez les poissons nourris par l'aliment B est inférieur à 1 pendant la période d'élevage (222 jours), ceci peut être expliqué par la consommation, la digestion et la transformation de l'aliment en chair contrairement aux aliments A et C. En effet, pour l'aliment C l'indice de conversion dépasse 1,10 durant la même période ceci vraisemblablementlié à plusieurs facteurs à savoir une mauvaise digestibilité de l'aliment ou la carence des besoins nutritionnels exigés par la truite.

2.3.4. Facteurde condition

La relation entre le poids et la longueur du poisson permet aux pisciculteurs de prédire à tout moment le Facteur de condition. Cette relation est de type puissance.

Le tableau ci-joint résume les facteurs de condition des trois aliments.

A la lumière du tableau 31, le facteur de condition est plus faible chez les poissons nourris par l'aliment C. En effet, les poissons ont une taille plus élancée que les poissons nourris par les deux aliments A et B.

Tableau 31 : Facteurs de condition des trois aliments (A, B et C)

Ech	Aliment A			Aliment B			Aliment C		
	Poids (g)	Taille (cm)	K	Poids (g)	Taille (cm)	K	Poids (g)	Taille (cm)	K
1	1165	43,5	1,42	1300	43	1,75	920	44,5	1,04
2	1105	46,0	1,14	1065	41,2	1,66	930	46	0,95
3	1095	42,0	1,48	1060	42	1,43	990	47	0,95
4	1090	45,5	1,16	1210	41	1,63	1160	50	0,92
5	1080	47,5	1,01	1200	42	1,31	875	47	0,84
6	1075	43,5	1,31	1175	42,5	1,37	920	44,5	1,04
7	1075	41,3	1,53	1185	41	1,39	1100	46,5	1,09
8	1070	45,0	1,17	1365	42	2,13	1100	46	1,13
9	1020	47,0	0,98	1195	43,3	1,86	980	47	0,94
10	1020	47,0	0,98	1100	41	1,69	895	47	0,68
Moy	1079,5	45,4	1,21	1185,5	42,1	1,61	1050,5	46,625	1,03

Il ressort des résultats obtenus dans la figure 53 que la relation entre le poids et la taille des truites arc-en-ciel suit une fonction polynomiale décroissante selon la formule :

$Y= f(x) = -0,023x + 69,73$ avec un coefficient de détermination $r^2 = 0,192$. Contrairement aux résultats des figures 54 et 55 qui montrent que la relation entre le poids et la taille des truites arc-en-ciel suit une fonction croissante selon les formules :

$Y= f(x) = 0,003x + 37,97$ avec un coefficient de détermination $r^2 = 0,142$.

$Y= f(x) = 0,008x + 38,30$ avec un coefficient de détermination $r^2 = 0,285$.

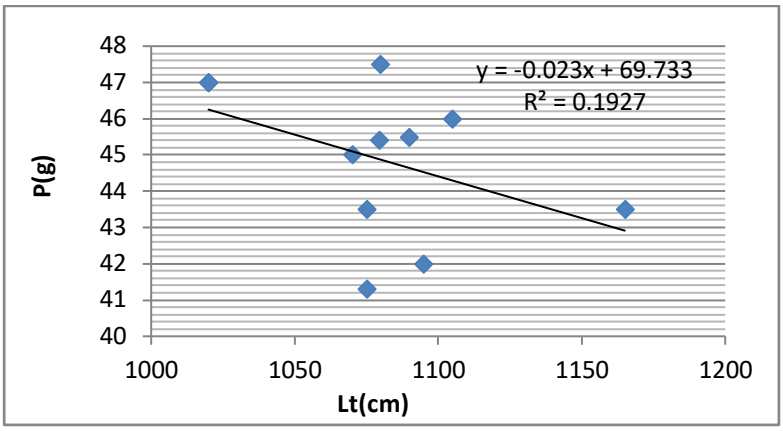


Figure 37 : Relation entre le poids et la taille des poissons nourris par l'aliment A

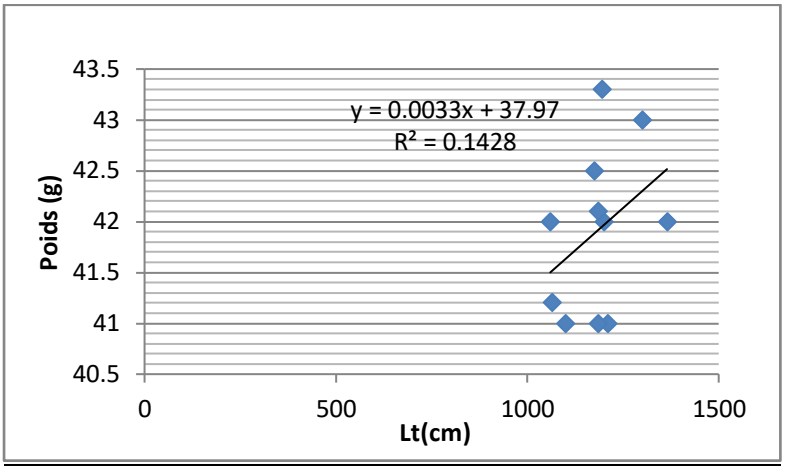


Figure 38 : Relation entre le poids et la taille des poissons nourris par l'aliment B

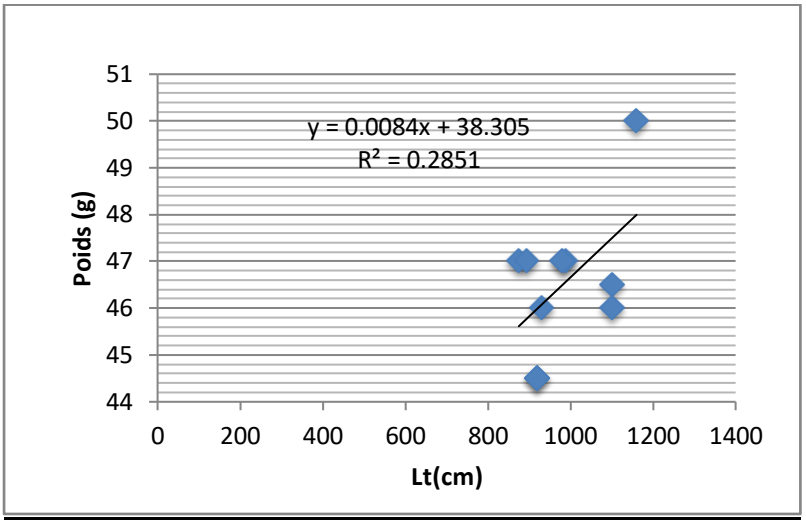


Figure 39 : Relation entre le poids et la taille des poissons nourris par l'aliment C

3. Discussion

En pisciculture comme dans nombreuses productions animales, la croissance, le poids et l'âge sont des caractères essentiels de la commercialisation et ont tous pour objectif de produire des individus de grande taille le plus rapidement possible.

Les truites ont été élevées dans des conditions optimales pendant toute la période d'essai, car les valeurs obtenues pour la température, l'oxygène dissous et le pH répondaient aux normes de l'élevage de ces poissons (Wedemeyer, 1996).

Afin de déterminer l'optimum de croissance et les compositions corporelles de la truite arc-en-ciel, il est nécessaire de déterminer les exigences énergétiques et la teneur protéique qui constituent les éléments majeurs dans le régime alimentaire (Watanabe, 2002).

Les exigences de la truite arc-en-ciel en terme de protéines digestibles/énergie digestible recommandées sont de 22 à 25% (Cho and Kaushik, 1990; Cho, 1992; NRC, 1993 ; Higgs et *al*., 1995).

Selon cette étude comparative de trois aliments extrudés (A, B et C), les résultats montrent que l'aliment B assure une croissance importante dans les trois stades d'élevage.

Dans le stade de pré-grossissement (40-100g), on remarque que la croissance des trois aliments suit l'ordre suivant : {C=132,68g}< {A=143,28g}< {B=147,22g}. Plusieurs auteurs montrent que la croissance corporelle relative étant plus importante chez les jeunes individus (NRC, 2011) et leurs besoins absolus en protéines sont logiquement plus importants (Robinson & Lovell, 1986 ; Xie et *al*., 1997). La croissance des poissons au stade de pré-regrossissent est liée aux taux de protéines dans l'aliment, cette phase nécessite des contenus protéiques très élevées dans l'alimentation, les besoins diminuent au fur et à mesure que le poisson grandit (NRC, 2011). Nos résultats sont contradictoires à ceux trouvés par Xie et *al*.,(1997) puisque notre étude comparative a montré que l'aliment C qui contient un taux de protéique de 46% dans sa composition biochimique reste l'aliment le moins performant en termes de croissance et de performances zootechniques ceci peut être expliqué par le fait que de hautes doses de protéines dans l'alimentation de la truite peuvent constituer un véritable gaspillage (Luquet, 1975). Il faut d'abord tenir compte de leur digestibilité et même à digestibilité égale, l'efficacité peut varier.

l'aliment extrudé B a procuré des meilleures performances zootechniques durant les trois stades d'élevage (40-100g ; 100-500g ; 500-1000g) par rapport à l'aliment A et C. Les plus grandes valeurs de poids moyens finaux, de croissances moyennes journalières et d'efficacités de conversion alimentaire ont été obtenus avec le régime B.

Il a été constaté que la croissance a été augmenté également par l'augmentation de taux de lipides dans le régime alimentaire C. Le poids final des poissons nourris par l'aliment B est plus grand que les poissons nourris par l'aliment C sachant que ces deux aliments ont presque la même teneur en protéines dans leur composition biochimique (B=39% et C=40%), mais avec un taux de lipides différents. Ces résultats obtenus sont similaires à ceux apportés par Luquet (1971) qui l'explique par l'épargne protéique.

De nombreuses études ont montré qu'un régime de haute énergie agit sur la croissance et l'efficacité alimentaire des protéines de la nourriture des poissons (Médale et Kaushik, 2008 ;Aba et *al*., 2011 ; NRC,1993). Cependant, la supplémentation avec de la graisse plutôt que des hydrates de carbone, en tant que source d'énergie non protéique, est généralement plus efficace parce que les lipides sont facilement métabolisés, en particulier par les poissons carnivores comme la truite arc-en-ciel (Chaiyapechara, 2003).

Nos résultats confirment l'existence d'une charge d'efficacité où une meilleure croissance a étéenregistrée pour la nourriture B traduit par un poids de 1043,9 g par rapport à l'aliment C (942,1g) et àl'aliment A (803,14g), sachant que l'aliment B présente une faible teneur en matière grasse au stade de grossissement qui présente une teneur de 24 % contrairement à l' aliment A et C qui ont des hautes teneurs de lipides 27% et 26% ceci est contradictoire à ce qui a été trouvé par Chaiyapechara (2003).

L'importance de l'iso énergétique des régimes alimentaires, tel qu'il est utilisé dans la présente étude a déjà été constatée afin de rendre tous les régimes alimentaires au même niveau énergétique.

En prise directe avec les objectifs de la production de la truite, la capacité à convertir efficacement l'aliment ingéré est un enjeu essentiel. L'efficacité alimentaire (EA) ou (IC) est le rapport entre le gain de poids d'un individu et la quantité d'aliments ingéré.

L'indice de conversion enregistré par les poissons alimentés par l'aliment B(B=0,9) est comparable à ceux obtenus par Erik et *al*.(2007) ; Brauge et *al*.(1994) ; Azevedo et *al*.(2004) dont les essais expérimentaux concernant l'effet de deux aliments extrudés sur les performances de la truite arc-en-ciel ont été révélatrices d'une bonne croissance et d'une efficacité de la conversion alimentaire de 0,88. Par ailleurs, on sait que la

croissance et l'indice de consommation ne sont pas toujours affectés par une carence en phosphore du régime (Ketaren et *al*., 1993 ; Roy et Lall., 2003) .

Le taux de survie enregistre des problèmes majeurs au niveau de la mortalité. Le taux de survie est supérieur à 99% chez les poissons alimentés par l'aliment Balors qu'au niveau des bassins A et C, les poissons ont subit une attaque bactérienne par la flavobacteriose suite à un orage et une baisse imprévue de la température du milieu. L'hygiène peut également avoir un rôle dans cette mortalité.

Les individus morts comptés au cours de l'expérience ne semblent pas être liés à l'alimentation mais à des facteurs externes.

Le facteur de condition est un indice de l'état de la santé des poissons et un indicateur de croissance (Kaushik et *al*., 1985). Il est très important chez les poissons nourris par l'aliment B{K_B= 1,61} qui présente un excellent état de santé. Ces poissons peuvent tous être considérés comme ayant un état de chair bien pigmentée (Barnham et *al*., 1998). Ces résultats permettent donc de constater que les poissons utilisés pour évaluer les différents régimes n'ont montré aucun signe physique de déficience, ce qui explique que les poissons nourris par ce régime B ont mieux grandi au niveau rapport poids/ longueur. Tandis que pour le régime extrudé C, les poissons ont eu une performance en taille plus importante que les performances de poids et cela ne peut être expliqué que par la richesse de l'aliment C en phosphore d'où un développement important de la charpente osseuse des poissons (Kaushik, 2005).

L'aliment C est riche en phosphate avec un taux de 1,5%. Cependant, les besoins de la truite arc-en-ciel, varient entre 0,5 et 0,9% en phosphore total (Kaushik, 2005; NRC, 1993) et de 0,4 à 0,7% en phosphore disponible (Kaushik, 2005; Hardy et *al*., 2002). Chez les truites de plus grandes tailles, les besoins ont été évalués à 0,60%, 0,30% et 0,15% en phosphore pour des poissons de 200 g, 300 g et 400 g respectivement (Lellis et *al*., 2004).

La truite arc-en-ciel exige dans l'alimentation des pourcentages nutritifs bien précis. Une augmentation ou une diminution de la quantité d'aliment agit soit sur la croissance et les performances zootechniques soit sur la détérioration de l'environnement par des fortes concentrations des éléments dans les rejets piscicoles (Ouellet, 1999).

4. Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que l'aliment extrudé caractérisé par sa teneur en énergie, sa meilleure digestibilité, son meilleur ratio protéines digestibles/énergie digestible et son niveau d'énergie non protéique déterminant est l'aliment qui offre à la truite les meilleures performances de croissance.

Considérons que le coût de production de l'aliment est le principal coût de production en pisciculture intensive, l'utilisation des régimes extrudés malgréleurs prix élevés peut être justifiée par les économies résultant de leur efficacité alimentaire, la meilleure conversion alimentaire, la réduction des rejets piscicoles et la contribution à une aquaculture durable. Tout cela passe par une efficacité technique et professionnelle au niveau de la maîtrise de la formulation des aliments.

L'élevage des truites passe par la détermination de leurs besoins nutritionnels et la couverture de ces besoins avec des aliments élaborés contenant des ingrédients divers et ceci à un moindre coût. Cette alimentation doit aussi assurer la bonne croissance, la bonne santé, le bien-être physiologique, la qualité de la chair et de faibles impacts sur l'environnement. Par ses principes généraux, la nutrition des poissons ne diffère pas de celle des vertébrés terrestres, mais les poissons présentent cependant de nombreuses particularités nutritionnelles ou physiologiques, du caractère ectotherme (absence de thermorégulation) et ammoniotélique (excrétion des déchets azotés préférentiellement sous forme d'ammoniaque), des propriétés du milieu aquatique lui-même (flottaison, présence de minéraux dans l'eau), ainsi que de la nature des nutriments présents dans ce milieu (abondance des protéines, rareté des glucides).

Chapitre 3 : Effets des trois aliments sur la qualité du produit fini(après transformation).

1. Introduction

L'intérêt de la consommation de poissons pour la santé publique est de mieux en mieux démontré. De nombreux résultats mettent en évidence les relations entre consommation du poissons et réduction des risques de maladies cardiovasculaires.

La composition en acides gras de la chair de poissons reflète généralement celle de l'aliment (Watanabe, 1982). La richesse en acides gras polyinsaturés de la série n-3 des huiles de poissons confère à la chair de poisson sa valeur «santé» (Nettelon, 1991).

Depuis les premières recherches de Lee et Putman (1973), l'emploi d'aliments à teneurs en lipides très élevées devient une pratique courante en aquaculture (Hillestad et Johnsen, 1994 ; Hillestad et *al*., 1998 ; Refstie et *al*., 2001). Même si cela permet une épargne des protéines ou une diminution des rejets azotés, ses effets sur la qualité nutritionnelle et organoleptique sont souvent sujets à controverse.

Les poissons sont les principales sources d'acides gras longs polyinsaturés (AGP) oméga 3 dans l'alimentation humaine.

La concentration des acides gras (AG) augmente avec la teneur en lipides de la chair. Il existe d'importantes différences en teneurs en lipides musculaires (de moins d'1 g à plus de 15 g/100 g de chair) entre espèces (Regost et *al*., 1999).

Ces différences ne sont pas liées à l'origine de la pêche ou de l'élevage des poissons mais à la capacité du tissu musculaire de l'espèce à stocker les graisses. Pour une même espèce, la teneur en lipides musculaires peut varier au cours de l'année en fonction de l'état physiologique de l'animal et de la quantité de nourriture à sa disposition. Les plus fortes variations sont observées pour les espèces grasses issues de la pêche (Médale, 2009).

En élevage, ces variations sont moindres. La composition en AG des lipides de la chair est sous la dépendance quasi exclusive de l'alimentation ; elle reflète celle des lipides alimentaires, c'est-à-dire celle de la chaîne trophique aquatique, pour les produits issus de la pêche, celle des constituants de l'aliment (huiles essentiellement) pour les poissons d'élevage (Regost et *al*., 1999).

L'objectif de cette étude est de comprendre l'influence des lipides alimentaires des trois types d'aliments (A, B et C) sur le métabolisme lipidique et la qualité physique et organoleptique de la chair de la truite arc-en-ciel et ce par des mesures instrumentales et sensorielles

2. Résultats

2.1. Paramètres morphométriques

Les tableaux 32, 33 et 34 montrent le suivi des paramètres morphométrique des poissons nourris par les trois aliments testés(A, B et C).

Tableau 32 : Paramètres morphométriques des poissons nourris par l'aliment A

Echantillons	Poids Total (g)	Poisson èviscèrè (g)	Poids de viscère (g)	Poids du Foie (g)	Poids de filets aprés filetage(g)	Rendement de Filetage (%)	Taille du poisson (cm)	Indice Viscèro somatique(%)	Indice Hèpatosomatique (%)	Rendement à l'éviscération (%)	Saumonisation
1	1165	1055	95	15	800	68,67	43,5	8,15	1,288	90,56	26,5
2	1105	1005	85	15	750	67,87	46	7,69	1,357	90,95	26,5
3	1095	1000	80	15	748	68,31	45,5	7,31	1,370	91,32	26
4	1090	990	90	10	730	66,97	45,5	8,26	0,917	90,83	26,5
5	1080	965	100	15	715	66,20	47,5	9,26	1,389	89,35	26
6	1075	945	110	20	690	64,19	43,5	10,23	1,860	87,91	26
7	1075	970	90	15	720	66,98	43,5	8,37	1,395	90,23	26,5
8	1070	965	85	20	710	66,36	45	7,94	1,869	90,19	26,5
9	1020	905	105	10	645	63,24	47	10,29	0,980	88,73	26
10	1020	935	70	15	682	66,86	47	6,86	1,471	91,67	26
MOYENNE	1079,5	973,5	91	15	719	66,56	45,4	8,44	1,39	90,17	26,25

Tableau 33 : Paramètres morphométriques des poissons nourris par l'aliment B

Echantillons	Poids Total (g)	Poisson èviscèrè (g)	Poids de viscère (g)	Poids du Foie (g)	Poids de filets aprés filetage(g)	Rendement de Filetage (%)	Taille du poisson (cm)	Indice Viscèros omatique (%)	Indice Hèpatosom atique (%)	Rendement à l'éviscération (%)	Saumonisation
1	1170	1060	95	15	900	69,23	46	7,31	1,15	81,15	29,5
2	1123	1025	80	18	785	73,71	48	7,51	0,94	94,37	30,5
3	1100	1000	85	15	650	61,32	47	8,02	0,94	94,34	29,5
4	1097	990	90	17	810	66,94	45	7,02	1,65	81,82	29,5
5	1095	965	115	15	770	64,17	45	9,58	1,25	80,42	30
6	1053	945	95	13	770	65,53	48	8,09	1,28	80,43	30,5
7	1080	970	90	20	770	64,98	49	7,59	1,69	81,86	29,5
8	1090	965	110	15	950	69,60	46	8,06	1,10	70,70	30,5
9	1010	905	85	20	800	66,95	46	7,11	1,67	75,73	28,5
10	1025	935	80	10	720	65,45	47,5	7,27	0,91	85,00	29,5
MOYENNE	1080,5	973,5	92	15	792,5	66,79	46,75	7,76	1,26	82,58	29,75

Tableau 34 : Paramètres morphométriques des poissons nourris par l'aliment C

Echantillons	Poids Total (g)	Poisson èviscèrè (g)	Poids de viscère (g)	Poids du Foie (g)	Poids de filets aprés filetage (g)	Rendement de Filetage (%)	Taille (cm)	Indice Viscèrosom atique(%)	Indice Hèpatosa matique (%)	Rendement à l'éviscération (%)	Saumonisation
1	920	825	75	20	545	59,24	44,5	8,15	2,17	89,67	<20
2	930	845	65	20	645	69,35	46	6,99	2,15	90,86	<20
3	990	880	90	20	660	66,67	47	9,09	2,02	88,89	<20
4	1160	1045	85	30	720	62,07	50	7,33	2,59	90,09	<20
5	875	800	60	15	590	67,43	47	6,86	1,71	91,43	<20
6	920	830	70	20	590	64,13	44,5	7,61	2,17	90,22	<20
7	1100	995	85	20	770	70,00	46,5	7,73	1,82	90,45	<20
8	1100	990	95	15	680	61,82	46	8,64	1,36	90,00	<20
9	980	878	85	20	620	63,27	47	8,67	2,04	89,59	<20
10	895	785	90	20	630	70,39	47	10,06	2,23	87,71	<20
11	1120	1020	85	15	685	61,16	47,5	7,59	1,34	91,07	<20
12	1055	965	75	15	590	55,92	47,5	7,11	1,42	91,47	<20
13	1245	1130	105	10	545	43,78	46,5	8,43	0,80	90,76	<20
14	990	905	75	10	565	57,07	47	7,58	1,01	91,41	<20
15	1290	1165	115	10	685	53,10	46,5	8,91	0,78	90,31	<20
16	1170	1050	105	15	525	44,87	46	8,97	1,28	89,74	<20
17	1035	935	85	15	555	53,62	46	8,21	1,45	90,34	<20
18	1035	935	90	10	655	63,29	47	8,70	0,97	90,34	<20
19	1035	915	95	25	670	64,73	46	9,18	2,42	88,41	<20
20	1165	1025	130	10	575	49,36	47	0,11	0,86	87,98	<20
MOYENNE	1050,5	945,9	88	16,75	625	60,06	46,625	7,80	1,63	90,04	<20

Les résultats détaillés dans les trois tableaux sont obtenus après trois stades de grossissement de la truite arc-en-ciel à la station de pisciculture d'Oum Er Rbia.

Le suivi des paramètres morphométriques montre que les poissons nourris par l'aliment A présente un indice viscèrosomatique {IVS=8,44% ±1,16} plus grand que les poissons nourris par les aliments B et C. En revanche, l'indice hèpatosomatique chez les poissons nourris par l'aliment C{IHS_C=1,63± 0,33}est plus important que ceux des deux autres aliments A {IHS_A=1,39 ±0,31} et B {IHS_B=1,26}.

Le rendement de filetage est l'indicateur majeur pour le rendement du produit dans latransformation des produits piscicoles, c'est un paramètre essentiel chez le producteur de poisson filet. Dans notre expérimentation, ce rendement de filetage est comparable pour les deux aliments A et B avec un taux qui atteint{RFB=66,79±3,41}chez l'aliment B.

Tableau 35 : Variations des paramètres morphométriques pour les trois échantillons de poissons.

	Aliment A	Aliment B	Aliment C
IVS (%)	8,44 ±1,16	7,76 ±0,75	7,80 ±1,00
IHS (%)	1,39 ±0,31	1,26 ±0,31	1,63±0,33
RF (%)	65± 1,72	66,79±3,41	60,06±3,87
RE	90,17±1,19	82,58±7,33	90,04±1,03
Saumonisation	26,25±0,26	29,75±0,63	20,1±0,31

2.2. Analyse biochimique du produit fini

Après filetage des poissons, l'analyse biochimique des filets montre que les filets de l'aliment C présentent une grande valeur lipidique (8,32%) bien qu'il contient un taux de lipides relativement faible de 26%. L'aliment A qui présente un taux de lipides de 27 %, ne présente qu'un faible taux lipidique dans les filets des poissons avec une teneur ne dépassent pas 6,06%.

Contrairement à l'aliment B qui présente un taux de lipides de 24% et le taux de rendement de filetage des filets des truites alimentées par l'aliment B plus important par rapport aux filets des truites nourries par les deux régimes A et C.

Tableau 36 : Analyse biochimique des filets (A, B et C)(Annexe 4)

Paramètres	Filet A	Filet B	Filet C
Humidité	73,19	73,11	72,82
Protéines(%)	19,25	19,31	17,12
Lipides (%)	6,06	6,07	8,32
Glucides(%)	0,13	0,09	0,43
Acides gras			
A.G.Saturés	20,3	18,7	30,2
A.G.monosaturés	47,6	51,6	29,6
A.G.Polyinsaturés	28,7	26,6	33,6
Oméga 3	12,5	10,3	22,6
Oméga 6	16	16	11
Rapport Oméga 3/Oméga 6	0,8	0,6	2,1
Rapport Oméga 6/Oméga 3	1,3	1,6	0,5

L'eau est le principal composant de la chair de poisson. Elle représente 70 à 80% de la matière fraiche. L'analyse biochimique des filets A, B et C montre que le taux d'humidité excède72%. Les filets A et B sont plus riches en protéines que les filets C.

La chair de poisson ne contient pas pratiquement de glucides. Ceux sous forme de glycogène sont généralement inférieurs à 1% pour les trois échantillons. Pour les acides gras, l'aliment C présente une teneur élevée en oméga 3 avec 22,6%.

Filet d'aliment A .....Filet d'aliment B Filet d'aliment C

Photo 15 : Degré de saumonisation de filets de poissons nourris par les trois aliments testés (A, B et C)

Les poissons nourris par l'aliment C ne sont pas pigmentés. La règle de l'échelle salmo Fan Tm Lineal commence à un niveau 20 degré de coloration rouge-orange.

Il ressort de ces résultats que les catégories des aliments ont un effet sur l'indice de coloration des poissons grossit. En fait, les poissons se nourrissant avec les aliments A et B ont obtenu des degrés de coloration supérieurs à ceux alimentés avec l'aliment C.

L'aliment B présente un excellent aspect de coloration, la chair est bien saumonée par rapport à l'aliment A qui a une coloration orange (photo 15).

2.3. Système d'acquisition des données

Le tableau 37 présente les moyennes d'acceptabilité pour les critères de couleur, de l'odeur, de la texture et du goût pour la truite arc-en-ciel nourrie avec les trois aliments testés.

Pour cette expérience, 10 dégustateurs ont évalué les poissons sur les différents critères énumérés selon une grille d'évaluation variant de 1 à 9.

Tableau 37 : Questionnaire des paramètres sensoriels (Annexe 5)

	Caractéristiques sensoriels	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Filet A	Visuel	7	3							
	Odeur	7	3							
	Gout	7	3							
	Texture	9	0							
Filet B	Visuel	9	1							
	Odeur	6	3	1						
	Gout	7	2							
	Texture	7	2							
Filet C	Visuel					3		2		5
	Odeur	1	2		1	1	1	1		3
	Gout		2	1	4					3
	Texture	1	5	1	1	1				1

3. Discussion

La chair de poissons est un aliment riche en protéines de valeur biologique élevée, en minéraux (en particulier le phosphore et l'iode) et en vitamines comme la vitamine D. Elle contient une grande quantité d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne de la série n-3 tels que l'acide eicosapentaénoïque (EPA) et l'acide docosahexaénoïque (DHA)

favorables à l'alimentation humaine. Ils permettent la diminution du taux de cholestérol dans le sang et des risques cardiovasculaires (Nettleton, 1991).

Le rendement de filetage dépend de l'espèce de poisson et de sa taille. Il fluctue entre 40 et 70% pour les espèces couramment concernées par l'aquaculture (Bencze, 2001).

Selon notre étude, le meilleur rendement de filetage est trouvé chez le produit fini de l'aliment B avec un rendement de (RF_B=66,79±3,41) par rapport au produit de filetage des poissons nourris par les deux aliments A et C qui ont des rendements de (RF_A=65,56±1,72) et (RF_B=60,06±3,87).

Pendant la production de filets, les principaux déchets sont les viscères, têtes, squelettes, peau, nageoires et tissu adipeux sous-cutané. Enfin, chez la truite arc-en-ciel, la partie comestible représente souvent moins de la moitié du poids vif du poisson.

Chez la truite arc-en-ciel, les lipides sont stockés en grande partie dans les viscères mais aussi dans le muscle (Rechignat et *al.*, 1995). Par conséquent, les lipides jouent un rôle important tant au niveau de son aptitude à la transformation qu'à celui de la qualité de la chair proprement dite (Fauconneau et *al.*, 1993).

Ces résultats sont contradictoires à nos résultats puisque l'aliment qui présente un accroissement de la teneur en lipides alimentaires présente une faible teneur en lipides musculaires et un faible degré de coloration de (20,1±0,31). L'aliment B est l'aliment qui présente une meilleure coloration avec une {S_B=29,75±0,63}.

Pourtant, chez la même espèce, Johansson et *al.* (2000) trouvent que la teneur en lipides de la chair est un facteur qui conditionne la texture de chair. Sheen et *al.* (1996) rapportent que chez la truite arc-en-ciel, la texture apparaît plus grasse et moins ferme chez les animaux nourris avec un aliment à 30% de lipides que chez ceux nourris avec un aliment à 20% de lipides ce qui contredisent nos résultats étantdonné que la truite de produit fini B qui a été alimenté par un aliment de 24% de lipides apparaît plus grasse que les filets des poissons A et C qui ont des teneurs élevées de lipides (respectivement 27 et 26%).

Une hausse de gain de poids brut peut, en effet, s'opérer lors d'un accroissement de la masse des tissus de réserves qui ne seront pas aussi bien valorisés que le filet. L'indice viscéro-somatique (poids des viscères / poids total de poisson) peut ici s'avérer très utile chez les poissons.

L'indice d'éviscération chez les poissons nourris par l'aliment B présente une faible valeur de (IVS_B=7,76 ±0,75) par rapport aux poissons nourris par les deux aliments A et

C. Ceci peut expliquer que les lipides issus de l'aliment B sont stockés dans la chair cela nous a donné un rendement de filetage plus important des filets de poissons nourris avec l'aliment B.

Ces résultats ont montré que plus l'indice viscéro-somatique et bas, plus le rendement de filetage est plus élevé et vice versa.

La couleur est l'un des facteurs les plus importants qui motive l'achat et l'acceptabilité d'un produit piscicole par le consommateur (Buttle et *al*., 2001 ; Baker et Gunther, 2004; Liu et *al*., 2004).

La pigmentation de la peau et de la chair des salmonidés, facteur de qualité recherchée tant par les pêcheurs et les gastronomes que par les pisciculteurs souhaitant améliorer leurs produits.

La couleur de la chair de poisson peut être évaluée par analyse sensorielle grâce à un jury entraîné aux tests descriptifs, par analyse de la concentration en pigments caroténoïdes (Torrissen, 1986) ou par analyse instrumentale comme le colorimètre.

Le degré de pigmentation (saumonisation) de la chair des poissons nourris par l'aliment B est identique à celui obtenu par Boucher et Vandenberg (2005) qui ont travaillé avec le même aliment.

La couleur de la chair de poisson est bien affectée par les régimes alimentaires testés. En effet, des différences sont mises en évidence sur la couleur externe du filet fumé. La valeur a*(indication de la teinte rouge) augmente avec la teneur en lipides du régime alimentaire (Sheehan,1988). Ces résultats sont différents à ce qu'on a trouvé dans notre expérimentation. En effet, l'aliment B qui présente une faible teneur en lipides produit un filet très saumoné avec un degré de saumonisation de 29,75±0,63.

La faible saumonisation de l'aliment A peut être expliquée par le phénomène de peroxydation. Du fait de leur teneur en acides gras polyinsaturés, les poissons sont très sensibles aux phénomènes d'oxydation et de peroxydation (Sheehan, 1996).

Les AGPI peuvent être altérés comme tous acides polyinsaturés car la présence de doubles liaisons les rend sensible à l'oxydation. Elle se caractérise par la production d'un peroxyde puis d'un acide oléiquedonnant les effets néfastes de la peroxydation des lipides, une destruction des vitamines pouvant entraîner une carence en vitamine E, une modification de la texture en raison d'une dystrophie de la chair, une diminution de la coloration de la chair et surtout une altération de la flaveur par rancissement (Cosgrove et Church, 1987). Ceci est enregistré dans le poisson nourri par l'aliment A sachant que les

deux aliments A et B ont la même quantité d'Astaxanthine mais la chair de l'aliment B est plus saumonée {B=29,75±0,63} que l'alimentA{A=26,25±0,26). L'aliment C ne présente aucune couleur de saumonisation lié probablement à l'absence d'incorporation de pigment dans l'aliment.

Les huiles végétales sont généralement riches en acides gras de la série n-6 ou n-9 (à l'exception de l'huile de lin, riche en C18:3 n-3 alors que les huiles de poissons sont riches en C20:5 n-3 (EPA) et C22:6 n-3 (DHA). La substitution de l'huile de poisson par des huiles végétales (seules ou en mélanges)induitune diminution des teneurs en acides gras Oméga 3, caractéristiques de l'huile de poisson (EPA et DHA) (Corraze et Kaushik, 2009).

Ces explications sont démontrés dans notre étude puisque les aliments A et B, plus riches en acides gras de la série n-6 que les acides gras de la série n-3, sont donc plus riches en huiles d'origine végétale qu'en huiles de poisson par contre l'aliment C est plus riche en acide gras de la série n-3 provenant généralement de l'huile de poisson.

L'incorporation des huiles végétales dans les aliments permet une augmentation des acides gras oméga 6 par rapport aux aliments contenant uniquement les huiles de poissons (Arzel et *al.*, 1994). Ces résultats sont confirmés par notre étude puisque les aliments A et B contiennent16% d'acides gras oméga 6 de type huile de colza par contre l'aliment C ne contient qu'un faible taux d'acides gras oméga 6(22,6% pour oméga 3 et seulement 6% pour oméga 6). Ce faible taux d'acides gras oméga 6 est expliqué par l'absence des huiles végétales.

4. Conclusion

Le contrôle et la gestion de l'alimentation sont essentiels au maintien et à l'amélioration de la qualité de la chair chez les poissons d'élevage.

Les résultats de cette étude ont montré que l'aliment extrudé B est caractérisé par ses meilleures caractéristiques morphométriques (IVS, RF et RE), son aspect physique de la coloration de la chair, facteur de qualité recherché tant par les pêcheurs et les gastronomes. Contrairement à l'aliment A qui a une coloration orange et l'aliment C qui ne présente aucune saumonisation mais riche en acide gras série n-3 et n-6.

Cette étude nous a poussé à entreprendre des essais d'élaboration d'aliments pour l'alimentation de la truite arc-en-ciel en augmentant la teneur en lipides et en remplaçant des matières premières comme la farine de poisson par des protéines d'origine végétale. Ce travail a fait l'objetde la partie suivante de ce travail.

Partie III

ÉLABORATION D'UNE FORMULATION PERFORMANTE ET ÉCOLOGIQUE POUR L'ALIMENTATION DE LA TRUITE ARC-EN-CIEL

- *Introduction*
- *Chapitre1 : Matériel et Méthodes*
- *Chapitre 2 : Effets des deux formulations élaborées sur les performances zootechniques de la truite arc-en-ciel.*
- *Chapitre 3 : Suivi des rejets des deux formulations élaborées (F1 et F2)*
- *Chapitre 4 : Modélisation des rejets des bassins avec les trois aliments étudiés (B, F1 et F2).*

Partie III : Elaboration d'une formulation performante et écologique pour l'alimentation de la truite arc-en-ciel

INTRODUCTION

L'aquaculture est actuellement l'un des secteurs de l'agriculture et de l'industrie alimentaire pour animaux qui progresse rapidement, en particulier, en Chine et dans les régions d'Asie où elle produit plus de 90% de la production aquacole globale (Akimaya et Hunter, 2000; Tacon et Forster, 2000). La production d'aliments aquacoles lance plusieurs défis aux conceptions traditionnelles de production alimentaire, à cause du milieu aquatique dans lequel les aliments doivent être livrés et ingérés et à cause des petites dimensions de l'aliment et de la variété des animaux élevés. Par exemple, les animaux qui ont une nutrition lente, comme la truite arc-en-ciel, ont besoin d'aliments physiquement stables dans l'eau.

En se référant au règlement 710/2009 de guide pratique animaux aquaculture biologique 21.01.12, le pourcentage de protéines doit être déterminé avec un maximum de 60% de protéines d'origine végétale et 40% de protéines d'origine animale. Toutefois, suite aux exigences nutritionnelles de la truite arc-en-cielen stade de grossissement, le pourcentage total de protéines ne doit pas excéder 41% dans la composition finale.

Les différentes combinaisons essayées nous ont permis de produire deux formulations (F1 et F2) avec des pourcentages de protéines végétale et animale différents.

Ces deux formulations ont été élaborées en tenant compte des différents paramètres du processus tels que la température, l'humidité, le temps de séjour dans l'extrudeuse, etc.

Pour des raisons tant économiques qu'écologiques, l'essai comparatif des trois aliments (A, B et C) réalisés au sein de la station de grossissement d'Oum Er-Rbia a permis de retenir que l'aliment B a présenté une meilleure performance zootechnique et un faible rejet de déchets (Ouaissa et *al*., 2017).

Dans ce sens, les recommandations de cet essai sur l'enjeu de l'interaction économie / environnement ont permis de poursuivre la recherche afin d'élaborer un propre aliment idéal et écologique qui répond aux exigences nutritionnelles et environnementales de la truite arc-en-ciel.

Chapitre 1 : Matériel et Méthodes

1. Élaboration des formulations

Au laboratoire, différentes manipulations de la composition protéiques de l'aliment ont été effectuées.

En se basant sur des études antérieures et dans le but de satisfaire des besoins nutritionnels de la truite et répondre aux attentes et besoin du marché national, nous avons réalisé plusieurs combinaisons en changeant les pourcentages de protéines d'origines animale et végétale tout en respectant le maximum de protéines préconisés pour l'alimentation de la truite qui est de 41% de protéines.

A la fin des manipulations, nous avons retenu deux formulations:

- ✓ F1 contient 60% de protéines d'origine végétale et 40% de protéines d'origine animale.
- ✓ F2 contient 40% de protéines d'origine végétale et 60% de protéines d'origine animale.

La composition des deux formulations est illustrée dans la figure 57 et le tableau 38.

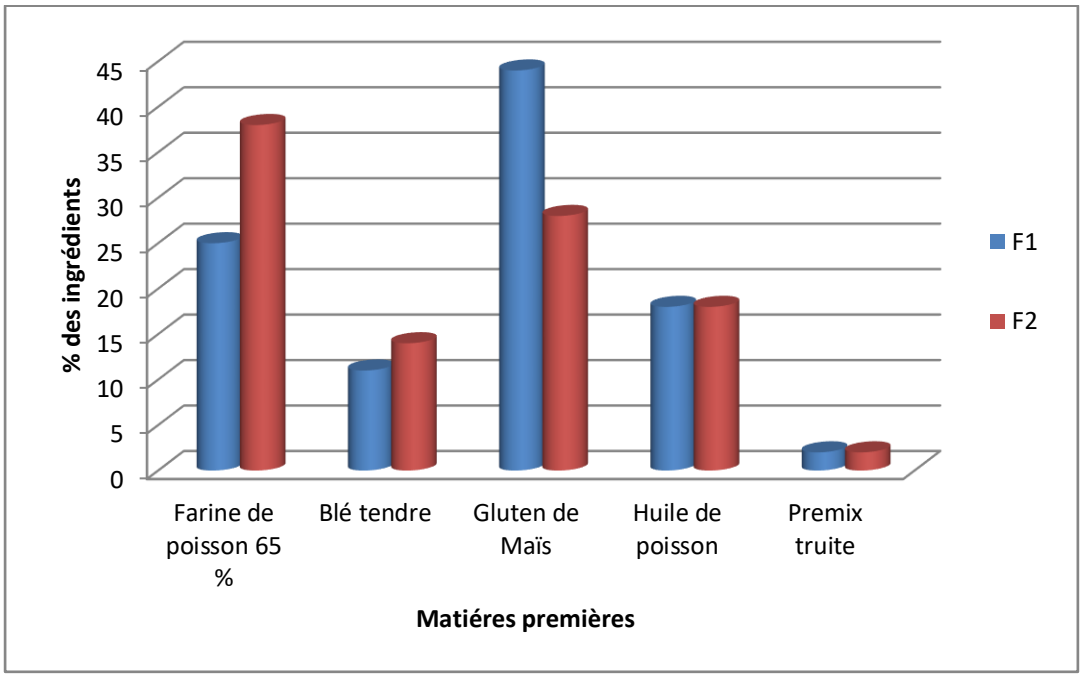


Figure 40 : Compositions des deux formulations proposées

Tableau 38 : Pourcentages protéiques de deux formulations.

	Pourcentages	
Part de protéines de poissons	40%	60%
Part de protéines végétales	60%	40%
Part total de protéines	41%	41%
Part d'huile de poissons	85%	85%
Part d'huile végétale	15%	15%
Part total d'huile	24%	24%

2. Choix des matières premières

L'expérience a été menée en utilisant des ingrédients nécessaires de manière à fournir les quantités requises en protéines, lipides, énergie, acides gras essentiels et oligo-éléments (vitamines et minéraux).

Les protéines d'origine animale et les lipides ont été fournis par la farine de poissons de 65 % et l'huile de poisson fournie par la société Tantasar située prés du port de Tan Tan.

Le gluten de Maïs de 60% de protéines fourni par la société Akssam située à Bir El Jdid.

Le blé tendre, qui a des caractéristiques d'agglomération des granulés d'aliment avec 12% de protéines dans la composition, a été utilisée comme liant.

Les vitamines et les minéraux ou le premix qui englobe les deux composants sont fournis par la société Cerna Maroc à Temara.

Farine de poisson **Gluten de Maïs** **Blé Tendre** **Prémix**

Photo 16 : Matières premières utilisées pour la fabrication de l'aliment de la truite arc-en-ciel.

3. Analyse biochimique des matières premières choisies

3.1. Prélèvement des échantillons

Après le choix des matières premières utilisées pour la fabrication de l'aliment de la truite arc-en-cielen stade de grossissement (Aliment de 7 mm), 500g de chaque composant est envoyé au laboratoire Feed & Food à Mohammedia pour des analyses biochimiques (protéines, lipides, humidité, cendres.)(Annexe 6).

Photo 17 : Échantillons des ingrédients des formulations.

4. Analyses de la composition des ingrédients

Les analyses biochimiques (protéines, lipides, humidité, cendres) ont été effectuées en duplicata selon la méthode de spectroscopie proche infrarouge.

La spectroscopie proche infrarouge (NIR - Near InfraRed Spectroscopy) est une méthode d'analyse physico-chimique basée sur l'interaction entre un rayonnement lumineux dans le domaine proche infrarouge (10.000-4000 cm^{-1} ou 1000-2500 nm) et les molécules de l'échantillon. Comme l'infrarouge "classique" ou moyen, le proche infrarouge fait partie des spectroscopies vibrationnelles : selon sa longueur d'onde, la lumière amplifie les mouvements de vibrations des molécules (élongation des liaisons,

torsions, pendule, etc.). Cette absorption sélective de l'énergie lumineuse fournit donc un spectre caractéristique de la nature et des quantités de molécules en interaction. Avec un modèle adéquat (calibration), une analyse qualitative et/ou quantitative est donc possible.

- **Avantage de la Méthode**
  - La spectroscopie proche Infrarouge est une méthode rapide ; le résultat est obtenu en une dizaine de secondes, ce qui permet d'augmenter le nombre d'analyses, de diminuer la période de quarantaine pour la libération d'un produit, de contrôler à quai l'arrivage des matières premières ou encore de suivre une cinétique pour la détermination d'une fin de réaction ou la régulation d'un procédé ;
  - Information complète sur l'échantillon ;
  - Faible coût de fonctionnement : Pas de réactif, pas de solvant (Bastianelli et *al*., 2019).

5. Processus de fabrication

Après l'élaboration théorique des deux formulations, l'étape suivante est la fabrication du produit. Elle est effectuée au sein de la société (Hexagone industrie) à Casablanca.

Le processus de fabrication est déroulé en plusieurs étapes enchainées successivement respectant certains paramètres tel que la température de l'extrudeuse, l'humidité et le temps de séjour de l'aliment dans l'extrudeuse.

L'extrudeuse est sous le nom de Jinan Datong, fabricant professionnel de machines de nourriture dans la ville de Jinan province du Shandong China.

Photo 18 : Machine Jinan Datong.

5.1. Pesage des matières premières utilisées

Le dosage des ingrédients se fait manuellement. Il permet de sélectionner l'apport des matières premières dans les proportions définies.

Photo 19 : Balance de pesage des matières premières.

5.2. Mélange des matières premières

5.2.1.Mélangeur

Le système d'alimentation est fixé sur un mélangeur avec une capacité d'une tonne des ingrédients, l'alimentation des matières premières (farine de poisson, farine de blé et gluten de Maïs, etc.). Le mélangeur,composé des raclettes en série, permet de broyer le mélange des ingrédients afin d'avoir un produit homogène.

L'eau est ajoutée au mélange avec un pourcentage de 15 à 17% pour 100 kg de mélange.

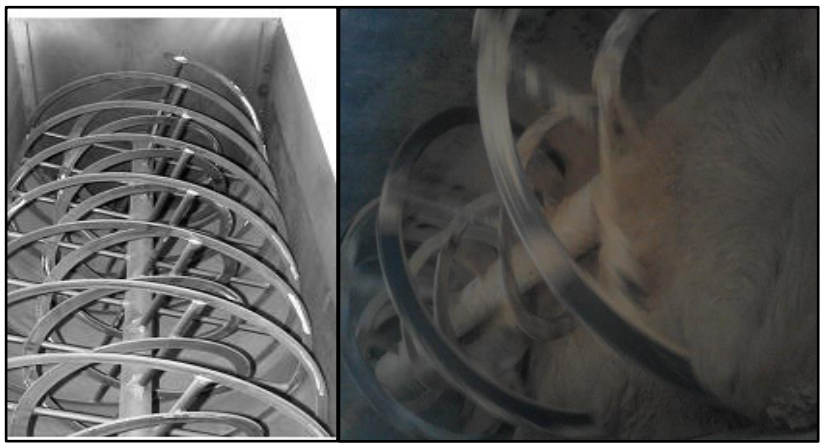


Photo 20 : Raclette de mélangeur.

L'humidité mesurée dans le mélangeur est de 24,30%. Elle est mesurée par l'appareil de Turbotech TT/8820.

Photo 21 : Appareil de mesure de l'humidité.

5.2.2. Extrusion

L'extrusion est devisée en deux étapes :

a. Pré-conditionnement

Les matières premières doivent être conditionnées avant d'entrer dans l'extrudeuse. Le pré-conditionnement vise à pré-gélatiniser les matériaux.

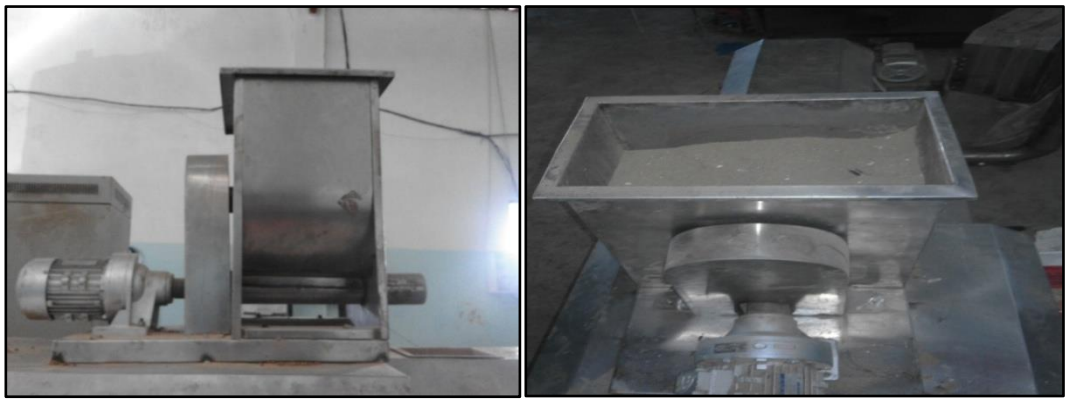


Photo 22 : Forme de pré-conditionneur.

b. Extrusion

La partie principale du système d'extrusion est la partie externe de l'extrudeuse constituée généralement de deux vis. Les directions de rotation des deux vis sont les mêmes: anti-horloge.

Pendant le traitement, les deux vis de raclage de l'extrudeuse,les matériaux collent sur les autres vices et poussés vers l'avant (Force de cisaillement).

Au cours de l'extrusion, la matière première poussant vers l'avant, le contact des matières premières avec le canon permet d'absorber l'énergie thermique provenant du canon.

Lors de la dernière partie de la vis, la matière première augmente l'énergie interne des deux vis et à ce niveau l'extrusion est terminée.

La production des deux formulationsa subit plusieurs essais d'échec. Nous avons tenté plusieurs hypothèses et essais de production et nous ne sommes pas arrivés à la bonne production jusqu'au 4 éme essai.

Le problème était dans la phase de l'extrusion est exactement dans la maitrise de réglage de température de l'extrudeuse qui influe de façon directe sur la dénaturation et la digestibilité des protéines.

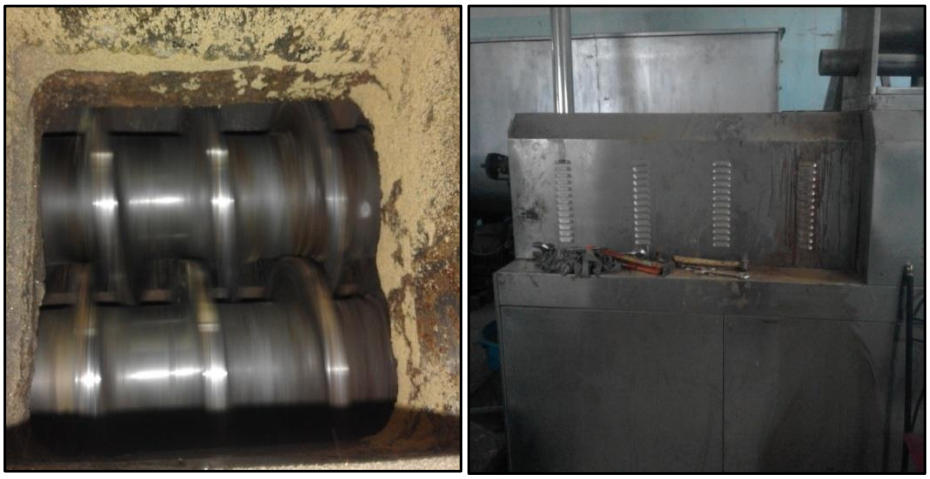


Photo 23 : Système d'extrusion.

Tableau 39 : Hypothèses proposées pour le réglage de la température de l'extrudeuse

Extrudeuse	H_1	H_2	H_3	H_4
Zone 1	150°C	140°C	130°C	120°C
Zone 2	135°C	125°C	115°C	105°C
Zone 3	120°C	110°C	100°C	90°C

La température est réglée sur un tableau de réglage attaché à l'extrudeuse.

Photo 24 : Tableau de réglage de la température.

Plusieurs essais de production ont été faits avec différents degrés de température de l'extrudeuse.

Certains paramètres ont été pris en considération tels que le temps de séjour des matières premières dans l'extrudeuse qui ne doit pas dépasser 40 secondes.Ce paramètre influe directement la gélatinisation du mélange.

L'aliment sort de l'extrudeuse sous forme de spaghetti.

Photo 25 : Forme de l'aliment aprés l'extrusion.

5.2.3. Système de coupe

Le système de coupe est constitué d'un couteau et une ceinture. Le châssis de couteau est fixé sur la partie de moule entraînée par le moteur, les aliments sont coupés par le couteau sous la forme exigée.

Photo 26 : Système de coupe.

La matrice est une plaque de métal présentant plusieurs ouvertures à travers lesquelles la masse d'aliment bouillant est comprimée.

La grosseur et la forme de ces ouvertures déterminent la forme et la grosseur du produit fini.

A côté de la matrice placée, un couteau rotatif de différentes tailles, selon la granulométrie de produit, coupe le produit à la dimension demandé par le client.

Plus la vitesse de rotation du couteau est élevée, plus les produits finis seront courts et plus leur forme sera aplatie.

***Photo 27 : Matrice de coupe*.**

5.2.4. Séchoir

À la sortie de l'extrudeuse, le produit présente une teneur d'humidité de 18 à 20% environ. Le produit doit être séché pour éviter tout risque de pourrissement.

Pour bien sécher les granulés, nous avons réglé le four à une température bien précise pour que les produits quittent le séchoir avec des teneurs en humidité de 9 à 10%.

La température et le temps de séjour d'aliments sont fixés sur le tableau de contrôle, le séchoir est lié à un tableau avec des paramètres de contrôle.

Température: Dans notre cas, l'aliment est séché à une température de 120 à 145°C, l'aliment abouti à la même température entre l'extrudeuse et le four.

A l'intérieur du séchoir se trouve des grilles de fine maille. En sortant de l'extrudeuse l'aliment passe par un convoyeur vers le séchoir pour être sécher à travers ses étagères à une vitesse bien déterminée.

***Photo 28 : Séchoir*.**

5.2.6. Enrobeur

L'aliment quitte le séchoir vers l'enrobeur par un convoyeur (Fig.71). Enrobage de l'aliment par les huiles de poissons se fait après l'étape de séchage, car l'ajout des huiles dans la phase d'extrusion devient très pâteux suite à une oxydation des huiles; Pour cela nous avons enrobé les granulés après l'étape de séchage. La quantité des huiles est

mesurée dans une cuve de 30 litres, la cuve est attachée à un tuyau qui permet d'arroser l'aliment avec une rotation de tambour.

Photo 29 : Convoyeur et l'enrobeur.

5.2.7. Refroidissement

Le rôle de cette étape de refroidissement est la formation d'une coque protectrice de l'aliment.

Par manque de refroidisseur dans notre chaine de fabrication, le refroidissement du produit fini se fait à l'air ambiant pendant une nuit. Cela permet l'absorption de l'huile et évite la perte d'huile de poisson lors de l'entassement des sacs de conditionnement.

Photo 30 : Produits finis (F1 et F2).

6. Analyses Biochimiques des deux formulations élaborés

Après la fabrication des deux formulations, nous avons envoyé un échantillon de 1 kg au laboratoire pour les analyses biochimiques des deux formulations élaborées (F1 et F2).

Les analyses biochimiques (protéines, lipides, etc.) ont été effectuées en duplicata selon la méthode de spectroscopie proche infrarouge.

7. Essai de grossissement

7.1. Présentation du site d'étude

Voir chapitre 1 de la partie 1.

a. Bassins d'essai

Bien que notre étude a été confrontée à des modalités techniques liées au fonctionnement de la station d'Oum Er-Rbia, nous avons choisi 4 bassins en polystéres de forme carrée (BC_A, BC_B, BC_C et BC_D) d'un volume de $8m^3$.

Le débit d'eau d'alimentation (eau de source Oum Er-Rbia) est de $11,47m^3/h$ à l'entréedes 4 bassins. Cet essai est réalisé dans les mêmes conditions comme celles du test comparatif des aliments A, B et C.

Le temps de renouvellement de l'eau est le même auniveau de l'ensemble des bassins.

Tableau 40 : Densité et nombre des truites dans chaque bassin d'essai.

Bassins	BCA	BCB	BCC	BCD
Nombres des pièces	300 pièces	300 pièces	300 pièces	300 pièces
Densité (m^3/kg)	1,52	1,55	1,54	1,55

L'essai est réalisé en monoculture, les poissons ont été nourris à la main avec une ration quotidienne bien précise selon le nombre de poissons et la biomasse. La ration a été fractionnée en deux repas distribués à 8h et à 14h. Deux bassins sont alimentés par un type de formulation élaboré (F1 et F2).

b. Période de l'étude

La présente étude a été réalisée du 12 septembre au 27 octobre 2017. L'essai de suivi des formulations acommencé juste après la production des deux formulations.

7.2. Échantillonnage

Le poids moyen des poissons initiaux est ± 500g et le poids final attendu est d'environ 1000g. Afin d'évaluer la croissance, les lots de truites ont été échantillonnés, dénombrés et pesés tous les 15 jours (selon la loi de student). Toute quantité d'aliments distribuée est pesée pour estimer la quantité consommée par les truites. La mortalité dans chaque bassin d'essais est relevée quotidiennement.

Chaque 15 jours, les poissons pris de chaque bassin ont été anesthésiés par lephénoxy-2-éthanol à raison de 5ppm à jeûn afin d'effectuer le calcul des performances zootechniques de croissance. En effet, nous avons réalisé les mesures de poids, de

biomasse, du taux de croissance spécifique, de l'indice de conversion, du taux de survie et de la mesure des paramètres morphométriques.

7.3. Rationnement et distribution

La détermination de la ration journalière se fait en fonction du taux de nourrissage de l'aliment B puisqu'il est considéré comme référence. Ce taux à la taille 500g est égal à 1,18 % selon la fiche de fournisseur de l'aliment.

Tableau 41 : Calcul de rationnement selon le taux de rationnement de l'aliment B.

	Énergie F1	Énergie F2	Énergie B	Taux de rationnement de l'aliment B
Énergie	21,31	21,39	21,92	1,18 %
Énergie B/Énergie Formules (F1 et F2)	1,03	1,02		
Taux de rationnement de F1 et F2	1,03*1,18=1,2%	1,02*1,18=1,21%		

Chaque 15 jours, la ration est recalculée à partir des niveaux de croissance théorique et mesurée, en tenant compte des mortalités.

La ration journalière est pesée et distribuée manuellement deux fois par jours, le premier le matin vers 8h et la seconde à 14h.

7.4. Itinéraire zootechnique de l'élevage.

7.4.1. Biomasse

La biomasse dans les bassins est connue à chaque instant. Des fiches d'élevage, tenues à jour, compilent pour chaque lot :

- Effectif ;
- Nombre de poissons morts;
- Suivis de croissance (échantillonnages réguliers : 2 fois par mois).

7.4.2. Mortalités et pathologies

Les poissons morts sont péchés et dénombrés quotidiennement pour chaque bassin, tout en gardant le comportement du poisson.

7.4.3. Entretien des bassins

Les grilles d'entrée et de sortie des bassins d'essais sont nettoyées quotidiennement.

Pour éviter un développement trop important d'algues, une couverture de toile d'ombrage a été posée (95% de rabattement de l'intensité lumineuse) sur toute la surface des bassins.

Les grilles fixés à la sortie du bassin permettent de confiner les poissons dans le bassin.

7.5. Prélèvement des eaux des bassins

Les paramètres physiques analysés in situ sont la température de l'eau, le pH, la conductivité électrique et l'Oxygène dissous.

Les analyses chimiques de l'eau ont été effectuées à l'amont et à l'aval des quatre bassins d'essai (BC_A, BC_B, BC_C, BC_D).

Pour estimer les concentrations de l'azote ammoniacal, des nitrites, des nitrates, des orthophosphates (PO_4^{3-}), des matières en suspension et de la demande chimique en oxygène à la sortie des bassins, 5 prélèvements d'eau ont été effectués à une fréquence bimensuelle.

Ces échantillons d'eau sont ensuite transportés dans une glacière à 4°C au laboratoire d'analyse de l'agence du bassin hydraulique d'Oum Er-Rbia (ABHOER) de Béni-Mellal.

Les méthodes d'analyse sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 42 : Méthode d'analyse physico-chimique

Paramètres physiques et chimiques	Méthodes d'analyse
Température	Oxymètre de terrain : Appareil d'Oxyguard Appareil d'Oxyguard
Oxygène dissous	
pH	pH mètre
Conductivité électrique	Appareil : EUTECH instruments cond 6+
Azote Ammoniacal (NH_4^+)	Méthode acidimétrique après distillation selon la norme AFNOR (1983) (NFT90-015)
Nitrites (NO_2^-)	Méthode de dosage spectrophotométrique des nitrates (NFT90-012)
Nitrates (NO_3^-)	Méthode de dosage spectrophotométrique des nitrites (NFT 90-023).
Orthophosphate (PO_4^{3-})	Spectrophotométrie après minéralisation suivie d'une hydrolyse d'acide (NFT 90-023).
Matière en suspension (MES)	Méthode par filtration sur filtre en fibres de verre
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	Méthode de détermination par le dichromate de potassium (NFT 90-101)

Chapitre 2 : Suivi de la croissance de la truite arc-en-ciel nourrie par les deux formulations élaborées (F1 et F2)

1. Introduction

L'alimentation des poissons est un enjeu pour le développement durable de la pisciculture. Depuis les années quatre-vingt, la pisciculture s'est considérablement développée au niveau mondial, occupant une place de plus en plus importante dans l'alimentation humaine et assurant à elle seule l'accroissement de l'offre de poisson.

Dans l'Union européenne et tout particulièrement en France et dans les pays du nord, les législations mises en place ont joué un rôle déterminant dans la diminution importante, observée depuis une dizaine d'années, des impacts environnementaux des installations piscicoles. Il faut également souligner la prise de conscience des professionnels désormais soucieux de l'image de leur activité auprès des consommateurs et de la population en général.En effet, la réduction de l'empreinte écologique de la pisciculture répond à une forte attente de la société.

A ce sujet, l'une de ces principales préoccupations concerne l'apport aux poissons d'élevage d'une alimentation performante, durable sur le plan économique mais aussi environnemental.

De très notables progrès ont déjà été réalisés dans ce domaine, fruits d'efforts de recherche et d'investissements importants. Ils portent en terme de l'espoir de nouvelles améliorations. Ainsi le moment était venu de faire le point sur ce sujet clé, que ce soit sur les acquis technologiques, sur l'enjeu environnemental ou sur l'acceptabilité sociale.

L'aliment est un élément incontournable de la durabilité de la filière piscicole. Dans la mesure où il constitue une composante transversale de la production, une réflexion a été lancée dès 2012 au sein de la profession sur la durabilité de l'aliment aquacole car les professionnels souhaitent évaluer la durabilité des matières premières qui le composent.

Dans le cadre de la réflexion sur la durabilité des aliments, les matières premières utilisées dans l'aliment ont été croisées avec les critères de durabilité. Il en ressort qu'aucune matière première n'est idéale, mais aucune matière première n'est à bannir : il importe avant tout de disposer d'une palette large de matières premières afin de pouvoir effectuer les meilleurs compromis à chaque formulation.

L'étude entreprise à la station de grossissement d'Oum Er-Rbia a pour objectif le suivi des deux formulations (F1 et F2) afin d'évaluer les effets des différents niveaux de protéines, de graisses alimentaires, de glucides et d'énergie sur les performances de

croissance de la truite arc-en-ciel. Par une meilleure utilisation de l'aliment et une mise au point de formulation moins polluantes, nous parviendrons à contribuer au respect de l'environnement et assurer une durabilité de l'aquaculture au Maroc .

2. Résultats

2.1. Analyses biochimiques des matières premières utilisées dans les deux formulations (F1 et F2).

D'après les analyses biochimiques des ingrédients utilisées dans les formulations, un fort pourcentage de protéines est présent dans la farine de poisson (farine de sardine) qui représente l'ingrédient essentiel dans la fabrication des aliments poisson carnivore avec une teneur de 65,24%. Ce taux est élevé par rapport au taux de protéine végétale (60,17% pour le gluten de Maïs et 10,6% pour le blé tendre).

Tableau 43 : Analyses biochimiques des ingrédients utilisés dans les formulations (Annexe 6)

Matières premières	Farine de poisson	Gluten de Maïs	Blé Tendre
Humidité %	8,51	9,19	14,3
Protéines %	65,24	60,17	10,6
Lipides%	12	8	0,3
Matières minérales %	16,9	2,1	0,6
Amidon %	-	16,9	-
Phosphore totale %	2,54	0,48	0,02
Énergie totale kcal /kg	4549	5132	-
Énergie totale MJ /kg	19,45	21,48	-

Concernant la composition en acides aminés, celle inhérente aux végétaux n'est globalement moindre que celle de la farine de poisson. La plupart des sources protéiques végétales ont des teneurs limitées en lysine, phénylamine et tryptophane à l'exception de gluten de maïs qui est riche en leucine et en cystine comme le détaille le tableau 44.

Tableau 44 : Analyses biochimiques des matières premières en acides aminés.

Acides Aminés	Farine de poisson	Gluten demaïs	Moyenne	Norme recommandée (NRC, 2011)
Méthionine	1,947 %	1,280 %	1,61%	0,7-1,9
Histidine	1,655 %	1,139 %	1,39	1,0-1,2
Phénylamine	2,750 %	0,900 %	1,82%	2,0
Cystine	16,9 %	8,533 %	12,71	*
Leucine	5,017 %	10,61 %	7,81%	2.3-9,2
Lysine	5,137 %	0,985 %	3,06	3,0-8,4
Thréonine	2,842 %	1,816 %	2,32	2,6
Tryptophane	0,77 %	0,825 %	0,79	0,3-0,9
Arginine	3,935 %	1,795 %	2,86	3,5-4,2
Isoleucine	2,951 %	2,123 %	2,53	1,5-2,8
Valine	3,403 %	2,476 %	2,93	1,7-4,3

Tableau 45 : Analyse biochimique de l'huile de poisson.

	Critère de la farine de poisson
Compositions	100 % riche en acides gras Acidité :< à 5 % en acide oléique
Caractéristiques physico-chimiques	Densité : 0,92 à 25 C Impureté : < à 1 %

Le tableau 46 présente les résultats des analyses biochimiques pour chaque formule utilisée.

L'analyse des deux formulations élaborées pour l'étude a permis de vérifier leurs compositions réelles. L'humidité des deux formulations est convertie en 10% qui présente l'humidité standard pour les aliments piscicoles.

Différents paramètres (Humidité, teneur en cendres, teneur en protéines brute, teneur en lipides brute, teneur en phosphore et en énergie)ont été analysés pour chaque aliment. Le taux des protéines, des lipides et en énergie ont demeuré à l'intérieur des limites raisonnables par rapport aux valeurs de l'aliment B.

Tableau 46 : Analyses biochimiques des deux formules (Annexe 7)

Aliments	Formule 1		Formule 2		Aliment B
Paramètres	Valeurs de laboratoire	Conversion en 10%	Valeurs de laboratoire	Conversion en 10%	
Humidité (%)	3,5	10%	4,2	10	10
Cendres(%)	6,8	7,12	7,2	7,51	7,2
Protéine N *6,25%	39,9	41,35	39,3	41,02	41
Lipides (%)	23,40	24,25	21,10	24	24
Glucides (%)	20,5	21,24	19,5	20,41	20,5
Phosphore Total (%)	0,9	0,93	0,95	0,99	1
Fibres Totales(%)	3,2	2,38	2,20	2,30	2,3
Valeur énergétique (Mj/kg)	20,40	21,31	20,44	21,39	21,92

La conversion en 10% humidité standard pour les aliments se fait selon la formule suivante :

Protéine brute en 10 % humidité =Taux de protéine (X) /100- Taux d'humidité

2.2. Performances de croissance

2.2.1. Croissance de la truite arc-en-ciel

Le tableau 47 montre les paramètres zootechniques de la truite arc-en-ciel étudiés pendant la période d'essai selon une fréquence bimensuelle.

Tableau 47 : Données des performances zootechniques de la truite arc-en-ciel.

	Volume m3	Débit en m3/h	Dates effectives de pesée	Temps	Nobre jour entre pesée	Nbr de jours (500-1000g)	Effectifs	Perte en nombre	Taux de Survie	Moyenne (g)	Ecart type	Coefficient de variation (%)	Biomasse (kg)	Densité (kg/m3)	Charge (kg/m3/h)	Aliment consommé (kg)	Gain de Poids (kg)	Indice de Conversion	Taux de Croissqnce Spécifique (%)
Aliment B	16	23,48	03/12/2015	J0	0		572	0	100	580,7	74,84	12,89	332,2	20,8	14,15	0	0	0	0
			31/12/2015	J28	28		572	0	100,00	831,6	103,71	12,47	475,7	29,7	20,26	115,80	143,5	0,81	1,3
			12/01/2016	J40	12		571	1	99,83	928,3	118,79	12,80	530,1	33,1	22,58	54,97	54,4	1,01	0,9
			22/01/2016	J50	10		570	1	99,65	1043,9	126,76	12,14	595,0	37,2	25,34	59,96	64,9	0,92	1,2
			Total		50	50 jours	570,0	2,0	99,7	1043,9	126,8	12,1	595,0	37,2	25,3	230,7	262,8	0,9	1,2
Formule 1	16	23,48	12/09/2017	J0	0		600	0	100	577,6	83,99	14,54	346,6	21,7	14,76	0	0	0	0
			27/09/2017	J15	15		600	0	100,00	687,6	89,98	13,09	412,6	25,8	17,57	53,30	66,0	0,81	1,2
			10/10/2017	J27	12		598	2	99,67	825,0	116,08	14,07	493,4	30,8	21,01	59,40	80,8	0,74	1,5
			27/10/2017	J43	16	43 jours	593	5	98,83	988,0	111,01	11,24	585,9	36,6	24,95	83,90	92,5	0,91	1,1
Formule 2	16	23,48	12/09/2017	J0	0		600	0	100	578,0	80,05	13,85	346,8	21,7	14,77	0	0	0	0
			27/09/2017	J15	15		599	1	99,83	715,2	97,29	13,60	428,4	26,8	18,25	57,10	81,6	0,70	1,4
			10/10/2017	J27	12		599	0	99,83	825,0	122,01	14,79	494,2	30,9	21,05	61,50	65,8	0,94	1,2
			27/10/2017	J43	16	43 jours	595	4	99,17	1080,0	176,24	16,32	642,6	40,2	27,37	83,60	148,4	0,56	1,7

2.2.2. Survie

La mortalité des poissons nourris avec les aliments (F1, F2 et B) élaborés est négligeable. Ces faibles mortalités sont probablement liées à la qualité de l'échantillonnage lors de la pesée des poissons et au nettoyage permanent des bassins.

Tableau 48 : Mortalités des truites suivant le régime alimentaire durant l'essai

Aliments	F1	F2	Aliment B
Mortalités	3	2	3

2.2.3. Indice de conversion

A la lumiére du tableau 49, il ressort que le poisson nourri par aliment B consomme 271,97kg par contre les poissons nourris par les deux formulations consomment des quantités comparables d'aliments F1 et F2 (F1=98,1Kg et F2=101kg) et ceci dans le but d'avoir une taille de 1000g.

Tableau 49 : Quantité d'aliment et gain de poids des poissons nourris par les 3 types d'aliments (F1,F2 et B).

Régimes testés	Aliment B [2015 -2016]				F1 [2017]			F2 [2017]		
Période de grossissement	31/12	31/01	15/02	28/02	27/09	10/10	27/10	27/09	10/10	27/10
Quantité d'aliment consommé (Kg)	41,24	115,8	54,97	59,69	53,30	59,40	83,90	57,10	61,50	83,60
Gain de poids (g)	45,03	143,5	54,38	64,93	66	80,8	92,4	81,6	61,5	83,6
IC	0,90	0,80	1,1	0,9	0,81	0,74	0,91	0,70	0,94	0,56
Moyenne IC	0,90				0,82			0,73		

2.2.4. Croissance de la truite arc-en-ciel

Tableau 50 : Performances de croissance des truites arc-en-ciel alimentées avec les deux formules élaborées (F1 et F2) et l'aliment comparé (B)

Paramètres	Aliment B	Formule 1	Formule 2
Poids initial (g)	580,7	577,6	578
Poids final(g)	1043,9	988	1080
Gain de Poids (g)	463,2	410,4	502
Nombre de jours	50	43	43
Taux de Croissance spécifique %	1,6	1,6	2
Taux de survie (%)	99,65	98,83	92,17
Indice Conversion	0,90	0,82	0,73
Facteur de Condition	1,60	1,14	1,72

Les deux formules élaborées étaient bien acceptées par les poissons au cours de l'essai avec une température de l'eau quioscillait entre 13,9et 14,1°C.

A la fin de l'essai expérimental, les données montrent que la variation des performances des paramètres zootechniques est significative (p<0,05) entre les deux formules car les poids finaux des poissons sont compris entre F1=988 g et F2=1080g et le test de Tukey montre qu'il ya une différence significative entre les deux poids finaux (p<0,05). Le pourcentage du gain de poids est de 463,2 pour l'aliment de référence B, alors qu'il estde 410,2 et 502 respectivement pour F1 et F2. L'analyse statistique a montréqu'il n'ya pas une différence significative entre ces deux valeurs des deux régimes (p>0,05) .

Les taux de croissance spécifique calculés varient entre 1,6% chez les poissons nourris avec le régime B avec 1,6% pour F1 et 2% chez les poissons nourris par la formule F2. Ce test statistique montre qu'ilya unedifférence significative avec (p<0,05).

Les résultats concernant le facteur de conditionontmontré une différence significative (p < 0,05) entre les trois régimes (B, F1 et F2). De plus, F2 présente un excellent facteur de condition (K_b=1,72) par rapport à l'aliment B.

La conversion alimentaire des poissons soumis aux différents régimes montrent que la formule F2 est aussi efficace que le régime comparé B puisque le meilleur taux de

conversion alimentaire observé est présent pour le régime de la formule F2 avec une moyenne de IC_{F2}=0,73.

La représentation graphique de l'évolution du poids moyen des truites arc-en-ciel nourris par trois types d'aliments iso énergétique, de la même composition biochimiques mais avecdifférente période de croissance (B= 50 jours et F1=F2=43 jours) est traduite à la figure 73.

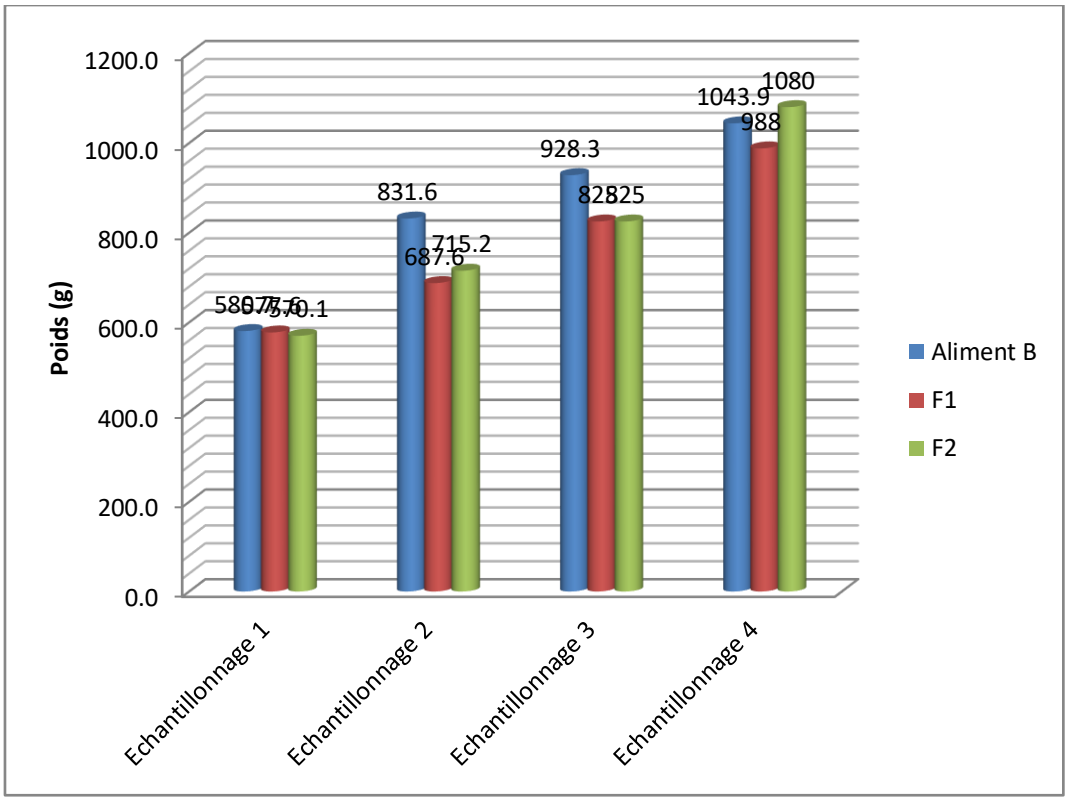


Figure 41 : Croissance de la truite arc-en-ciel en fonction des formulations élaborées et l'aliment comparé

Au début de l'expérimentation, la moyenne de poids des poissons des trois régimes (B, F1 et F2) sont presque identiques. Elles sont respectivement de 580,7; 577,7 et 578g. Puis, on observe une croissance remarquable de l'ensemble des poissons surtout ceux nourris par l'aliment B jusqu'au dernier échantillonnage où les poissons nourris par F2 ont montré une croissance plus importante et ont atteint 1080g.

La croissance pondérale a une incidence majeure sur la production. Elle reflète l'efficacité de l'aliment en production de masse. Pour cette raison, un suivi régulier de lamesure de poids des truites a été réalisé tout au long de l'essai expérimental.

La formule F2 est la meilleure en terme de croissance avec unpoids final de 1080 g et un gain de poids de 502g au bout de 43 jours (11,67 g/jours) par rapport à la formule F1 avec 988 au cours de 43 jours (9,54 g/jours).

D'après les résultats ci-dessous, on trouve que les deux formules présentent des indices de conversion plus au moins faibles (0,82 et 0,73 respectivement pour F1 et F2) que celui trouvé par l'aliment B (0,9).

Tableau 51 : Paramètres zootechniques pour les trois aliments comparés

	Aliment B	F_1	F_2
Indice de conversion	0,9 ± 0,08	0,82 ±0,10	0,73 ± 0,20
Taux de conversion spécifique	1,2 ±0,2	1,3 ± 0,69	1,4 ±0,95
Facteur de condition	1,61 ±0,25	1,14 ± 0,10	1,72 ±0,12

Les figures 74, 75 et 76 montrent l'évolution de l'indice de conversion en fonction de la croissance de la truite alimenté par le régime B.

L'évaluation de la conversion alimentaire permet de déterminer avec quelle efficacité les truites élevées transforment les aliments ingérés en gain de masse.

Notre expérience a montré que l'indice de conversion (IC) chez les poissons nourris par les deux formules élaborées (F1 et F2) est inférieur à 1 pendant la période d'élevage de 43 jours.

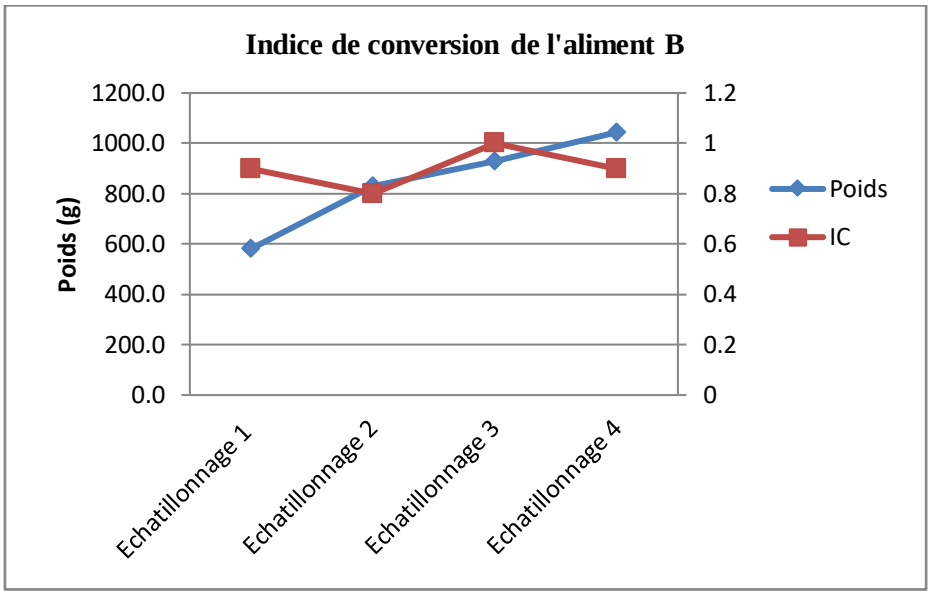


Figure 42 : Variation de l'indice de conversion pour aliment B.

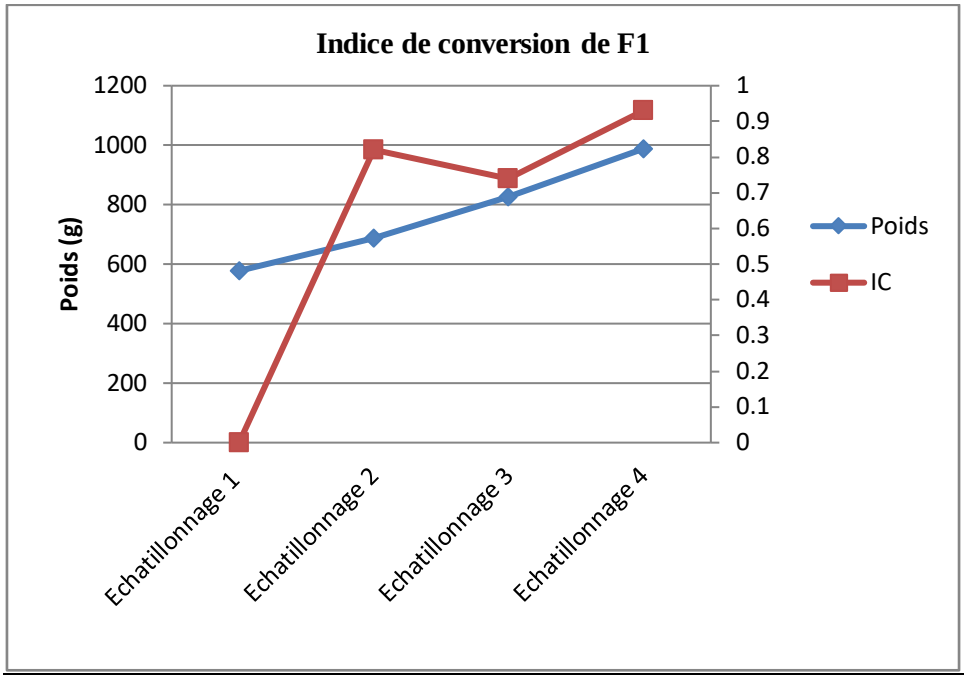


Figure 43 : Variation de l'indice de conversion pour la formule F1.

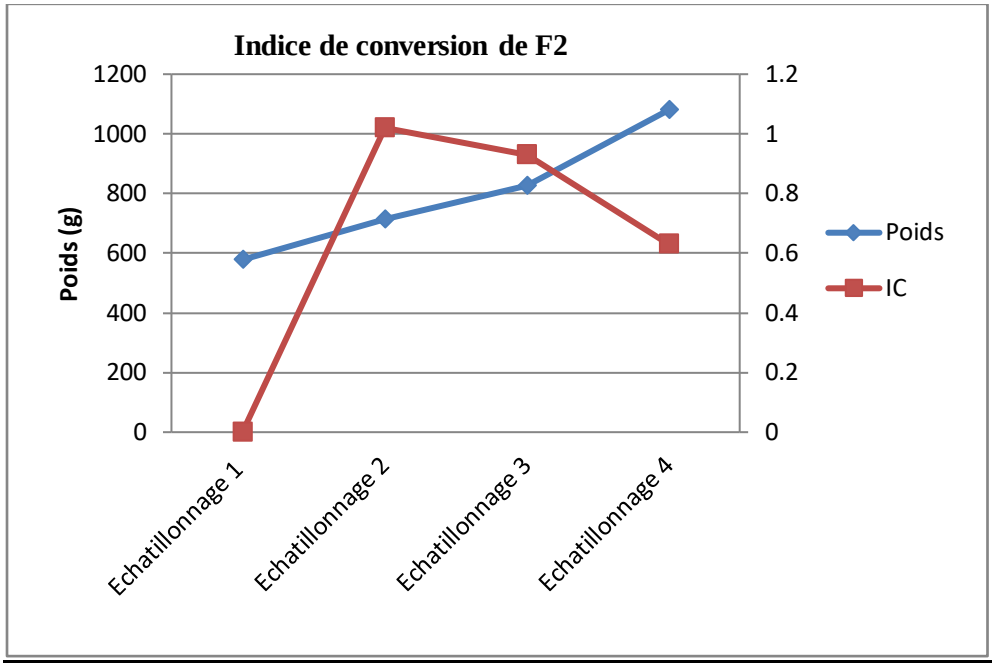


Figure 44 : Variation de l'indice de conversion pour la formule F2.

2.3. Paramètres morphométriques

Les paramètres morphométriques montrent que les poissons nourris par l'aliment élaboré F1 présente un indice viscèrosomatique {IVS=7,95% ±0,08} plus grand que ceux des poissons nourris par les aliments B et F2.

L'indice hèpatosomatique chez les poissons nourris par l'aliment B{IHS_B=1,26±0,31} que ceux enregistrés chez les poissons nourris avec F1 {IHS_{f1}=1,12 ±0,32} et F2 {IHS_{f2}=0,86 ± 0,33}.

Tableau 52 : Paramètres morphométriques étudiés pour les trois aliments.

	Aliment B	F1	F2
IVS %	7,76 ±0,75	7,95 ±0,08	7,30 ±0,01
IHS%	1,26 ±0,31	1,12±0,32	0,86±0,33
RF %	66,79±3,41	66,06±3,23	69,03±3,87
RE	82,58±7,33	80±1,03	72±1,05

Le rendement de filetage est le paramètre essentiel chez les producteurs du poisson filet. Il présente un taux de {RF_{f2}=69,03±3,87} chez F2, ce qui présente un bon indicateur du rendement du produit.

Le rendement d'éviscération chez les poisons nourris par les aliments B et F1 présente une grande valeur (RE_B=82,58±7,33) et (RE_{F1}=80±1,03), ceci peut s'expliquer par le stockage des lipides dans les viscères et non pas dans la chair.

Photo 31 : Filet de la truite arc-en-cielnourrie par les deux formulations.

2.4. Analyse statistique

Les données de cette expérience ont été analysées par SPSS statistics, developer serial. Pour les variables mesurées durant la période d'élevage (Masse moyenne initiale, masse moyenne finale, IC, TGC, SGR et FC). Les différences significatives ont été établies à l'aide de test de Tukey ($P < 0,05$).

3. Discussion

La stratégie de substitution de 60% des protéines animales par des protéines végétales fonctionne sur le principe que la farine de poisson n'est pas une matière première indispensable mais ce sont bien les nutriments qu'elle apporte qui le sont.

Les aliments proposés pour les truites sont pauvres en glucides, riches en protéines (41 à 42%) en phase de grossissement (NRC, 1999) et en lipides (12-24%) (Beamish et Medland, 1986 ; Kim, 1988). Sur la base de ces données, nous avons utilisé des matières premières concentrées en protéines et en lipides mais n'ayant que de faibles taux de fibres pour la formulaion des aliments.

D'après nos résultats, la formulation qui indique une grande croissance est F2, elle contient 60% de protéines d'origine animale, la différence decroissance entre les deux formulations F1 et F2 n'est pas importante.

Le principal rôle des protéines alimentaires est d'assurer l'entretien et la synthèse des protéines corporelles et donc la croissance protéique, mais toutes les sources protéiques n'ont pas la même efficacité. Il faut d'abord bien entendu tenir compte de leur digestibilité, mais même à digestibilité égale, l'efficacité peut varier.

Plusieurs études réalisées sur les substitutions des taux de protéines animales supérieurs de 30 à 50% (selon les ingrédients) entrainent une diminution des performances de croissance (Regost et *al*., 1999 ; Burel et *al*., 2000; Kaushik et *al*., 2004).

Ceci est contradictoire à ce qu'on a trouvé comme résultat, la substitution des protéines de poissons par des protéines végétales avec une proportion qui atteint 60% a démontré une croissance remarquable (410,4 g) pendant une durée de 43 jours et un faible indice de conversion [IC=0,73]. Il existe des différences importantes entre les espèces de poissons en fonction de leur niveau trophique, il est possible d'incorporer des taux variables de glucides dans les aliments (Polakof et *al*., 2012). Ainsi, les espèces herbivores (carpe herbivore) et omnivores (carpe commune) acceptent jusqu'à 40 % de glucides dans leurs aliments sans que cela ne modifie leurs performances de croissance, tout en apportant des éléments bénéfiques : une épargne protéique et une baisse des rejets azotés liés à l'utilisation du glucose comme source d'énergie.

La composition des deux formulations F1 et F2 indiquent des teneurs de glucides variant de 20 à 21% répondant aux exigences de la truite arc-en-ciel en gluscides. Selon Médale et *al*. (2013), les espèces carnivores (salmonidés, bar) n'acceptent pas

d'aliments contenant plus de 20% de glucides digestibles. Un taux supérieur à 30% de glucides dans le régime peut provoquer des glycogénoses hépatiques ou musculaires et entraîner un stress métabolique (ANR, 2003). Stone(2003) a rapporté qu'au-delà de cette proportion, une baisse de croissance associée à une hyperglycémie persistante chez l'animal est provoquée, limitant a priori une incorporation plus élevée des glucides pour ces espèces. Toutefois, l'ajout de glucides en quantité acceptable chez les poissons carnivores permet d'épargner les protéines et diminuer les rejets azotés de façon significative démontrant aussi chez ces espèces l'intérêt potentiel des glucides (Stone, 2003).

Le gluten de maïs incorporé dans les formules contient 16,9% de la matière minérale ainsi le blé tendre se caractérise par sa richesse en amidon mais la cuisson de l'amidon permet de le transformer en sucres beaucoup plus digestes, en particulier le glucose, c'est un des intérêts de la cuisson-extrusion pour les aliments truite. En outre, l'ingestion d'amidon digestible au-delà d'un seuil de 20% de la ration provoque une hyperglycémie postprandiale persistante et des perturbations métaboliques souvent associées à une baisse du taux de croissance chez les salmonidés (Médale et *al*. 2013).

Plusieurs facteurs nous ont poussé à utiliser le gluten de maïs au lieu de la farine de soja pour des raisons nutritionnelles et environnementales. Le soja est moins énérgetique en termes protéiques avec 48% de protéines que le gluten de maïs qui contient 60% de protéines et moins de 5% de lipides (Mente et *al*., 2003). Sa teneur est faible en méthionine et il contient plusieurs facteurs anti-trypsiques néanmoins sensibles à la chaleur. Chez nombreuses espèces de poissons, les composants anti-nutritionnels de tourteau de soja tels que l'inhibiteur de trypsine, des lectines, des saponines et des oligosaccharides peuvent avoir un effet négatif sur la digestibilité des nutriments et la performance zootechnique du poisson, contrairement à la digestibilité élevée du gluten de maïs. Cette différence de digestibilité par rapport aux autres protéines végétales s'explique en grande partie par une faible concentration en facteurs antinutritionnels.

Le seul facteur antinutritionnel retrouvé dans le gluten de maïs est le phytate. Le gluten de maïs, comme la plupart des protéines végétales, est pauvre en phosphore (0,6 à 0,7%) (NRC, 1993). De plus, la digestibilité apparente du contenu protéique du gluten de maïs (87%) est relativement plus élevée que celle de certaines autres

protéines végétales utilisées dans la fabrication des aliments d'aquaculture (NRC, 1993).

Tous les acteurs du métabolisme glucidique sont présents chez les salmonidés mais leur régulation est atypique (Polakof et *al*., 2012). Les matières premières doivent donc être choisies de façon à limiter la quantité d'amidon dans la ration au de là de 20% de la matière sèche.

Les analyses de laboratoire montrent que la composition des formulations élaborées en phosphore ne dépasse pas 1%, le taux varie entre 0,90 et 0,93%. L'aliment B présente également un faible pourcentage dans sa composition. Plusieurs études montrent que le besoin en phosphore se situe entre 0,5 et 0,9% de l'aliment (NRC, 199 ; Kaushik, 2005), constituant ainsi l'élément minéral quantitativement le plus important, contrairement aux animaux terrestres.

La croissance des poissons obtenus avec les deux modes d'alimentation (F_2=1080; F_1=988g pendants 43 jours) se compare avantageusement avec celle obtenue par Flimlin et *al*. (2003) lors d'un essai d'alimentation de truites sur 11 semaines avec des régimes alimentaires contenant 0,6 ;0,9 et 1,2% en phosphore total.

Concernant les valeurs d'indices de conversion obtenues dans la présente expérience, on peut considérer que les résultats sont qualifiés, dans l'ensemble de bons pour les deux formules élaborées, se situant dans une fourchette comprise entre 0,83 et 0,86.

Le facteur de condition K, qui renseigne sur l'état nutritionnel du poisson (Caveriviere, 1990), sert à évaluer la productivité des cours d'eau ou l'effet de l'environnement sur certains paramètres de reproduction et l'état des stocks des espèces aquatiques (Caveriviere, 1990). Tout comme l'indice de conversion, le facteur de condition K permet d'apprécier les performances nutritionnelles d'un régime alimentaire. Dans cette étude, les poissons nourris avec le régime F2 ont affiché un facteur K_{F2} supérieur aux poissons soumis aux autres modes alimentaires (F1 et B). L'indice K étant inversement proportionnel à la longueur (L) des poissons, les résultats obtenus avec le régime F2 peuvent être expliqués par le fait que les poissons nourris par ce régime F2 ont grossi en largeur plutôt qu'en longueur. Ceci confirmerait l'effet négatif de la déficience de l'aliment en phosphore sur le développement de la charpente osseuse des poissons (Kaushik, 2005).

Le rendementde filetage, rapport entre le poids des filets et le poids frais du poisson, dépend de l'espèce de poisson et de sa taille. Il fluctue respectivement entre 40 et 70% pour les espèces couramment concernées par l'aquaculture (Bencze, 2001).

L'aptitude à la transformation correspond à la notion de rendement à chaque étape du processus. Pour une espèce et une taille précise, les rendements à l'éviscération dépendent de l'engraissement du tissu périviscéral.

L'indice d'éviscération chez les poissons nourris avec les aliments F1 et F2 présente des valeurs comparables de (IVS_{F1}=7,95 ±0,08) et (IVS_{F2}=7,30 ±0,01) ceci peut s'expliquer par le stockage des lipides issus des deux formules dans la chair ce quia donné un rendement de filetage plus important des filets.

4. Conclusion

Le suivi de la croissance de la truite arc-en-ciel nourrie par les deux formulations F1 et F2 est la suite de l'essai comparatif des trois alimentstestés (A, B et C). Les résultats du test comparatif montrent que l'aliment B est l'aliment de référence pour la fabrication des deux aliments (F1 et F2) ayant la même composition biochimique (41% de protéines et 24% de lipides) avec des pourcentages de protéines animales et végétales différents.

Nos résultats apportent que la formulation F2, contenant 60% de protéines d'origine animale, donne une grande croissance sachant que la différence de croissance entre les deux formulations F1 et F2 n'est pas significative.

la substitution des protéines de poissons par des protéines végétales avec une proportion qui a atteint 60% a démontré une croissance remarquable pendant une durée de 43 jours et un faible indice de conversion [IC=0,82].

Concernant les valeurs d'indices de conversion obtenues dans la présente expérience, on peut considérer que les résultats sont bons pour F1 et F2 se situant dans une fourchette comprise entre 0,73 et 0,82.

Chapitre 3 : Caractérisation des effluents des bassins de grossissement

1. Introduction

Ces derniers années, l'aquaculture intensive a été l'objet de diverses questions concernant ses impacts sur le milieu aquatique, notamment à cause des rejets azotés et phosphorés, éléments qui favorisent la prolifération des algues. Toutefois, le phosphore (P) est essentiel pour le poisson, notamment comme constituant de son squelette.

En pisciculture, les rejets de phosphore proviennent des aliments (source du P) non ingérés ou du P qui excède les besoins physiologiques des poissons qui est alors évacué aussi bien dans l'urine que dans les féces (Ouellet, 1999).

L'aquaculture intensive génère dans l'environnement une charge en phosphore de l'ordre de 7 kg par tonne de poisson produit, ce qui peut occasionner et accélérer le vieillissement du plan d'eau récepteur (Ouellet, 1999).

L'impact négatif du phosphore sur l'environnement a conduit a un resserrement des normes des rejets et a freiné l'expansion de l'aquaculture dans plusieurs pays, surtout industrialisés, privant ainsi la population des aspects positifs de l'aquaculture, (Morin, 2012 ; Ouellet,1999 ; Verdegem et *al*.,1999).

Le Danemark est le premier pays à instaurer des restrictions pour la production de poisson d'élevage et à légiférer sur la composition des aliments pour poissons afin d'exiger la réduction de la pollution, depuis lors, certains pays développé ont imposé des limitations sur la concentration du phosphore (P) dans les effluents aquacoles. Plusieurs technologies de production d'aliments ont été évaluées pour réduire les rejets aquacoles.

Étant donné que la source primaire du phosphore excrété par les poissons est l'aliment, les stratégies alimentaires pour réduire l'excrétion du P à la source sont parmi les méthodes privilégiées pour le secteur aquacole.

A cet effet, des régimes à haute teneur en nutriments et moins riches en phosphore ont été élaborés. Une alternative moins étudiée est la possibilité d'alterner de façon périodique des régimes complets et déficients en phosphore. Parmi les travaux antérieures effectués dans ce domaine, on peut citer ceux de Lellis et *al*. (2004) qui ont

démontré la possibilité de réduire la charge en phosphore des effluents aquacole grâce à l'alimentation en phase.

L'augmentation de la capacité de production par unité de surface est nécessaire pour compenser les coûts d'investissement et de fonctionnement liés aux systèmes d'élevage en circuit recyclé. Ainsi, les fermes danoises pratiquent des densités en élevage dépassat 100 kg/m^3. L'augmentation de la densité en élevage a pour conséquence la diminution de la quantité d'oxygène disponible et l'accumulation des produits toxiques chez les poissons, tels que l'AAT, le CO_2, les NO_2^-et les métabolites bactériens. La dégradation de la qualité de l'eau génère des conditions de stress pour les poissons, augmente le risque de pathologies, affecte la prise alimentaire et la croissance et induit une diminution de l'état de "bien être" des poissons (Brett, 1969 ; Piper et *al*., 1982 ; Jobling, 1994). La qualité de l'eau est le point clé pour définir la capacité d'accueil d'un système d'élevage piscicole et donc la densité d'élevage maximale sans atteinte au bien être. Pourtant, des études passées en revue par Lellis et *al*. (2004) mentionnent des effets négatifs de l'augmentation de la densité en élevage, sans avoir étudié les paramètres de dégradation de la qualité de l'eau.

L'objectif de notre étude est de faire un suivi des effluents des bassins où les poissons sont nourris avec les deux aliments (F1 et F2) ayant différentes sources de phosphore et d'azote (Animale et végétale).

2. Résultats

Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de remplissage des bassins d'essai sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 53 : Paramètres physico-chimiques de l'eau de source Oum Er Rbia (Valeur moyenne sur la période Septembre 2017-Octobre 2017

Paramètres	Eau de la source	Norme de Qualité des eaux piscicoles
pH	7,63 ± 0,28	6,6 à 8
Température (°C)	14,37 ± 0,28	5<T<15
Cond. Elect (µS/cm)	206,43 ± 6,21	<350
Oxygène dissous (mgO_2/L)	10,41 ± 0,42	>7
NH_4^+ ($mg.L^{-1}$)	0,033± 0,028	<0,5
NO_2^-($mg.L^{-1}$)	0,0033 ± 0,002	<0,1
NO_3^-($mg.L^{-1}$)	5,031 ± 2,31	<100
PO_4^{3-} ($mg.L^{-1}$)	0,054 ± 0,022	<0,5
MES ($mg.L^{-1}$)	3± 0,05	<25
DCO ($mg.L^{-1}$)	8,88±5,19	25 à 30

A la lumière du tableau ci dessus, la qualité physico-chimique de l'eau d'alimentation de la station de grossissement de la truite arc-en-ciel répond aux normes recommandées pour l'élevage de cette espèce.

2.1. Azote Ammoniacal

Les taux de protéines dans les aliments évalués sont généralement identiques pour les trois aliments B, F1 et F2 (Tabl. 54).

Tableau 54 : Pourcentage de taux de protéines dans les trois aliments.

	B	F1	F2
Protéines (%)	41	41,35	41,02

Tableau 55 : Concentration des rejets ammoniacal (mg/l) par les trois aliments testés (Valeur moyenne sur la période de suivi).

NH_4^+	Aliment B			
Période	03/12/2015	31/12/2015	12/01/2016	22/01/2016
Aliment B	0,20mg/l	0,25mg/l	0,27mg/l	0,32 mg/l
Aliments F1 et F2				
Période	12/09/2017	27/09/2017	10/10/2017	27/10/2017
F1	0,011	0,024	0,034	0,042
F2	0,012	0,015	0,034	0,098

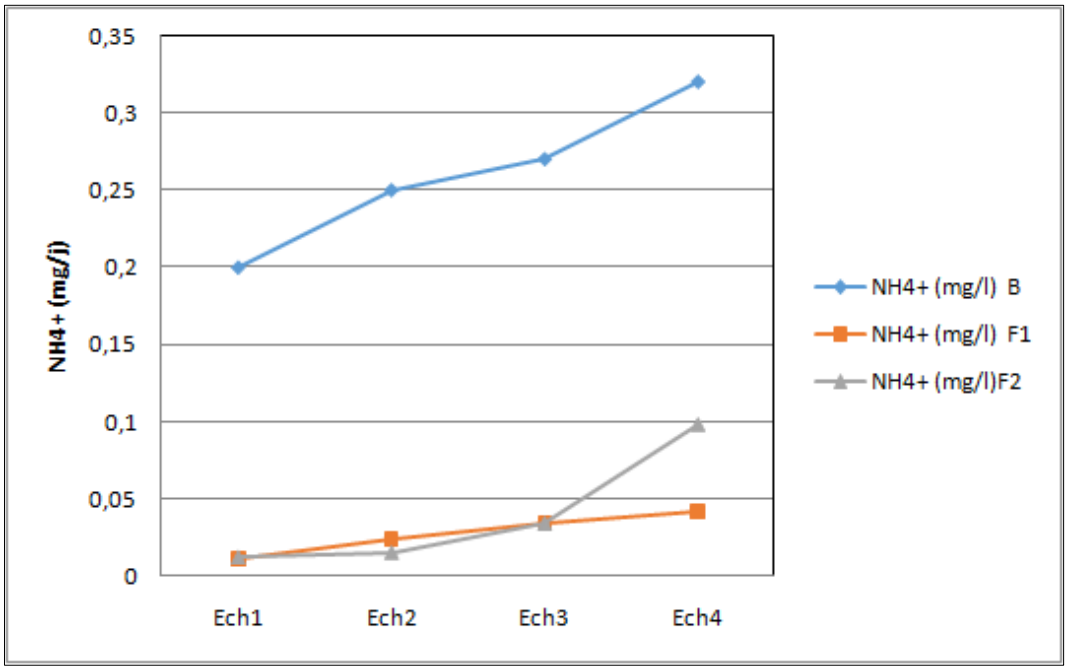


Figure 45 : Évolution de la concentration en azote ammoniacal des rejets des bassins avec les aliments B, F1 et F2.

L'évolution de NH_4^+ durant les 43 jours d'essai montre que les bassins avec l'aliment B excrète plus d'azote ammoniacal que ceux avec F1 et F2. En revanche, l'évolution des concentrations de NH_4^+provenant des bassins avec F1 et F2 sont pratiquement similaires pour des 3 premiers échantillons et ne se distinguent que le 27 octobre 2017 où la concentration double au niveau du rejet provenant des bassins avec F2. Cette différence est significative de ($p<0,05$) sachant que F1 et F2 ont un même pourcentage et une composition différente de matières premières.

2.2. Nitrites et nitrates

Les concentrations des nitrites oscillant entre 0,002 et 0,022 mg/l pour F1 et F2 sont négligeables par rapport à la norme exigée qui est de 0,3 mg/l dans les effluents piscicoles en eaux douces.

Les teneurs des nitrates varient entre 5,12 et 5,89mg/l dans les eaux de sortie des bassins avec F1 et F2. Au niveau des rejets provenant des bassins avec l'aliment B, la concentration de NO_3^- atteint 12mg/l. Toutes ces concentrations sont très faibles par rapport aux normes recommandées.

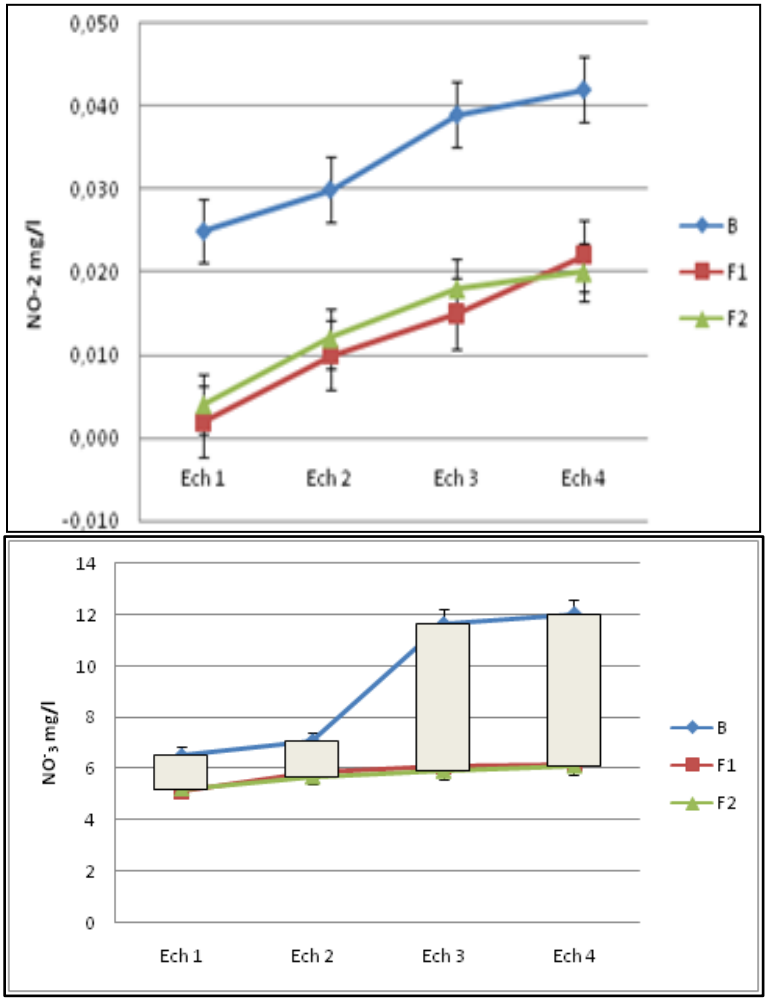


Figure 46 : Évolution de la concentration de NO_2^- et NO_3^- des rejets des bassins avec les aliments B, F1 et F2.

2.3. Effet de la teneur en phosphore de l'aliment sur l'excrétion du phosphore par la truite arc-en-ciel

Les analyses montrent que les trois régimes sont similaires en terme de matières sèches, de protéines (iso protéiques), de lipides brutes (iso lipidiques) ainsi qu'en énergies totales (iso énergétique), alors que les teneurs en phosphore des régimes F1 et F2 sont proches entre elles (0,94 et 0,99 %) (Tabl. 56). Ceci est confirmé par le test statistique qui montre que le taux de phosphore varie de façon significative (p<0,05) entre les deux aliments F1 et F2, alors que la différence est non significative entre F1 et F2 et l'aliment B (p >0,05).

Tableau 56 : Composition des trois aliments (Valeur moyenne sur la période de suivi).

	Aliment B	F1	F2
Humidité (%)	10	10%	10
Cendres (%)	7,2	7,12	7,51
Protéines N*6,25 %	41	41,35	41,02
Lipides %	24	24,25	24,02
Glucides %	20,5	21,24	20,41
Phosphore Total %	1	0,94	0,99
Fibre Total %	2,3	2,38	2,30
Énergie totale	21,92	21,31	21,39

L'évolution de PO_4^{3-} durant la phase d'engraissement(500-1000g) est presque similaire pour F1 et F2. Tout comme les nitites et nitrates, les fortes concentrations en orthophosphates sont enregistrées chez l'aliment B avec une valeur maximale de 0,12 mg/l.

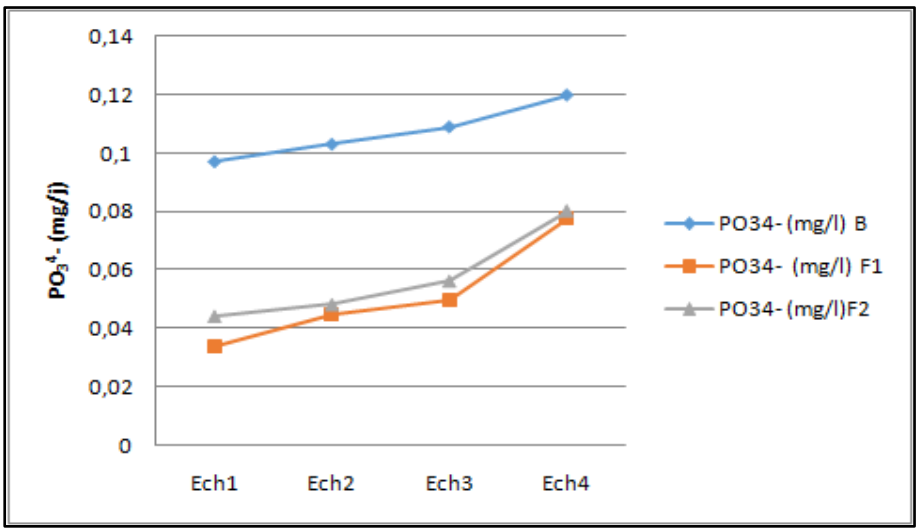


Figure 47 : Évolution de la concentration des rejets phosphatés des rejets des bassins avec les aliments B, F1 et F2.

2.4. Matières en suspension

L'évolution des matières en suspension indique que l'aliment comparé B reste toujours l'aliment qui présente des fortes teneurs avec une concentration de 12mg/l.

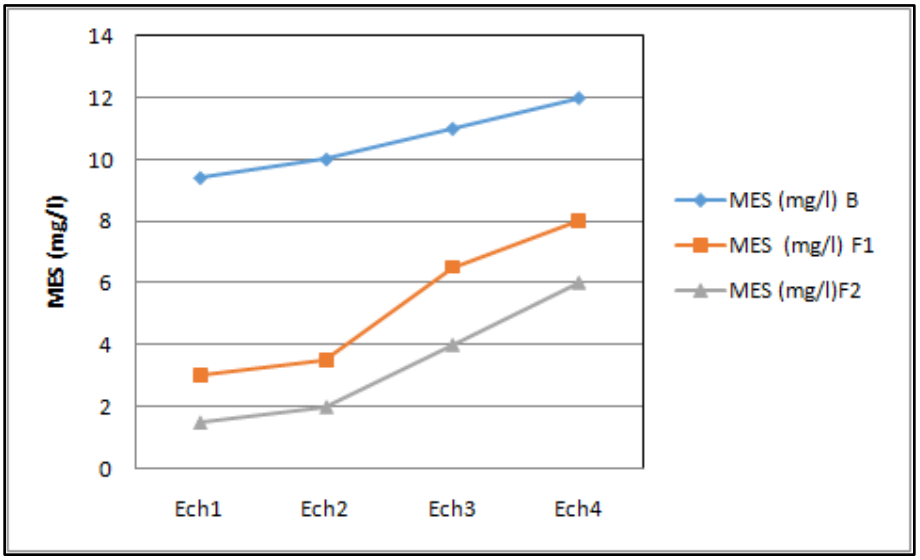


Figure 48 : Évolution des matières en suspension des rejets des bassins avec les aliments B, F1 et F2.

2.5. DCO

L'évolution de la DCO indique que l'aliment B est l'aliment qui présente des fortes teneurs en DCO avec une concentration de 29 mg/l par rapport aux deux aliments élaborés F1 et F2 qui présentent des concentrations faibles et identiques.

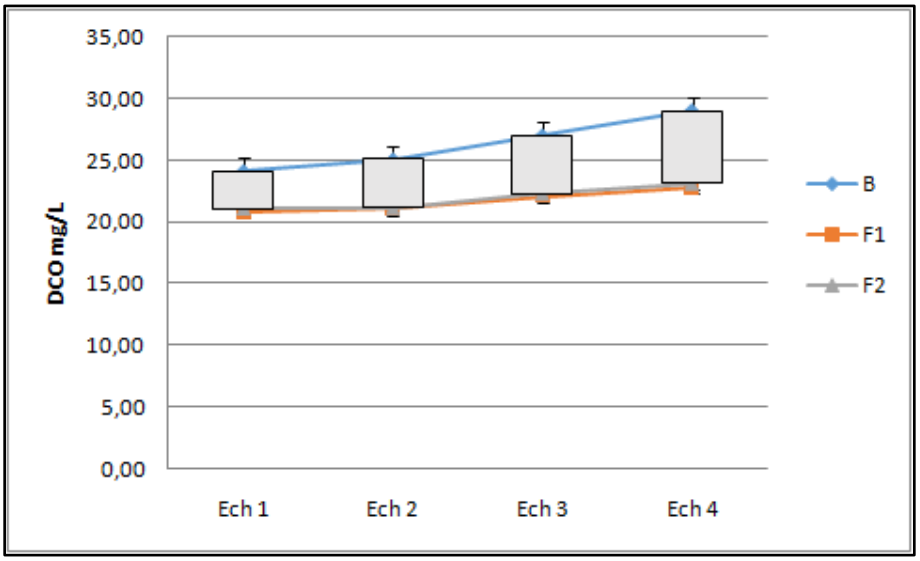


Figure 49 : Évolution de la concentration de DCO des rejets des bassins avec les aliments B, F1 et F2.

3. Discussion

Bien que des progrès considérables aient été réalisés dans la réduction de la teneur en phosphore des aliments de poissons et, par conséquent, dans les milieux aquatiques,

ces pertes peuvent constituer une partie substantielle de la charge globale des déchets provenant d'une pisciculture.

Les aliments élaborés F1 et F2 se caractérisent par une substitution des ingrédients d'origine animale avec ceux d'origine végétale. Les aliments élaborés présentent une faible concentration de PO_4^{3-} par rapport à l'aliment comparé B.

Dans notre essai, les régimes F1 et F2 contiennent moins de P total dans leur composition que le régime B témoin (0,94% et 0,99% contre 1%). Ils sont aussi moins riche en P total que les aliments granulés commerciaux pour salmonidés (1 -1,5%) (Lellis et *al*., 2004). La quantité des rejets phosphorés dans l'eau de sortie les bassins des régimes F1 et F2 est nettement inférieure à la quantité libérée par l'eau de sortie du régime B utilisé comme témoin.

Les farines de poisson sont riches en P principalement sous forme de phosphate tricalcique. Pour cette raison, les aliments pour poissons incorporant des niveaux élevés de farine de poisson peuvent avoir des quantités excessives de phosphore. Selon Kaushik (2005), la teneur excessive du P dans l'aliment commercial de la truite arc-en-ciel pourrait être réduite en remplaçant le phosphore de la farine de poisson par un ingrédient alternatif d'origine végétale sans effet négatif sur la croissance ce qui améliore l'efficacité de la rétention de phosphore.

La concentration de phosphore dans les eaux de sortie des bassins avec F2 est plus élevée par rapport à celle rejetée par les bassins avec F1. Ceci est lié au taux élevé de la farine de poisson mis dans la composition de la formulation de l'aliment F2. En effet, le grand pourcentage de phosphore dans la composition de la formulation F2 est issu de la farine de poisson ayant une teneur de 2,54%. Pour le rendre disponible et digestible, nous l'avons traité par le système d'extrusion avec des hautes températures de 140 à 150°C. Ceci nous a permi d'avoir des résultats très satisfaisants avec des rejets toujours plus faibles que ceux trouvés pour l'aliment B. Ces résultats corrobent les essais réalisés par Satoh et *al*., (2002) qui ont montré que l'extrusion à 140°C permet d'améliorer l'absorption du phosphore contenu dans la farine de soja chez la truite arc-en-ciel à tous les âges. En outre, il a été démontré ici que l'exigence en phosphore pour la truite arc-en-ciel grossie est faible comparée à celle des juvéniles. Pour cette raison, une réduction significative de la charge de phosphore des truites arc-en-ciel pourraient être atteint en formulant des régimes avec des niveaux de phosphore qui conviennent aux exigences du poisson.

La réduction des rejets a été obtenue en modifiant la composition du régime alimentaire en sélectionnant des ingrédients d'alimentation ayant une biodisponibilité élevée. Si les nutriments sont en excès et ne sont pas retenus dans le corps du poisson, ils seront rejetés dans l'environnement. Le concept consiste à utiliser des régimes contenant uniquement la quantité d'éléments nutritifs exigés pour l'élevage. Cette procédure est essentielle pour maintenir les régimes alimentaires respectueux de l'environnement (Ouellet, 1999).

Il a été note une grande différence entre les rejets azotés libérés par les poissons alimentés par aliment B et les rejets des poissons alimentés par les deux régimes F1 et F2 sachant que les trois régimes (B, F1 et F2) ont le même pourcentage de protéines (41%).

La combinaison appropriée de produits végétaux en tant que substituts de la farine de poisson dans les régimes alimentaires couvre l'exigence de la truite arc-en-ciel en acides aminés essentiels dans les régimes expérimentaux et entraîne une amélioration de l'utilisation des aliments. Par conséquent, ces résultats indiquent que des combinaisons de régimes alternatifs à faible teneur en protéines pourrait réduire avantageusement non seulement la dépendance à la farine de poisson en tant que principale source de protéines, mais aide également à réduire la charge des rejets azotés liés aux régimes sans perte de performances zootechniques. Les augmentations de taille de poissons alimentés par F1 et F2 ont entrainé une augmentation des rejets azotés mais restent toujours plus faibles que ceux rejetés par les poissons nourris avec l'aliment. Cette faible excrétion revient à la maitrise de la formulation, de la quantité d'aliments distribués et de la stabilité de la température de l'eau de l'élevage. Ces résultats confirment l'étude de Dosdat (1992a) et Azevedo et *al*. (1998) qui ont montré qu'une augmentation de la température de 6 à 15°C a engendré une augmentation de la digestibilité apparente de la matière sèche, de l'azote et de l'énergie. Ce qui a entrainé la reduction de l'excrétion des déchets azotés d'environ 40%.

Les concentrations des nitrites et nitrates rejetées par les trois aliments sont très faibles et ne présentent aucun effet ni sur la toxicité des poisons ni sur le milieu aquatique récepteur. Ces résultats confirme les travaux de Kaushik (1980) qui rapporte que les rejets sous forme de nitrites et nitrates dûs aux poissons sont négligeables.

La truite arc-en-ciel exige un aliment flottant et dur pour ne pas être dégradé facilement dans l'eau, une maîtrise de séchage et de l'enrobage qui rend l'aliment dur et bien enrobé. La maîtrise de ces points de production permettent d'avoir des régimes F1 et F2 bien performants avec moins de dégradation ce qui donne une faible concentration des matières en suspension dans les bassins d'essai.

En général, les rejets aquacoles sont caractérisés par une forte dilution des polluants dissous et particulaires mais aussi par une concentration en oxygène dissous généralement proche de la saturation (Pagnade, 1999). Beaucoup moins concentrés en matières en suspension, leur demande en oxygène est de quelques dizaines de mg/l, donc 10 à 20 fois moins importante qu'un effluent urbain (El Hamoury et *al*., 1995 ; Abissy et Mandi, 1990).

4. CONCLUSION

Pour rentabiliser leur production, les pisciculteurs intensifient leur production, ce qui augmente les rejets dans l'environnement. Dans notre étude, l'importance des débits d'entrée a permis la dilution des eaux des bassins. Seul le phosphore peut avoir un impact négatif et entrainer l'eutrophisation des milieux sensibles. Une gestion optimale de l'alimentation des poissons est la façon la plus efficace pour diminuer les rejets de phosphore dans l'environnement. Cependant, dans les milieux sensibles, un traitement plus poussé peut être nécessaire comme une substitution de phosphore apporté par la farine de poisson par un ingrédient animal ou végétal moins riche en phosphore.

Chapitre 4 : Modélisation des rejets des bassins avec les trois aliments étudiés (B,F1 et F2)

1. Introduction

L'objectif de cette étude est d'estimer la densité maximale dans les bassins d'élevage de poissons par des équations mathématiques qui seront utilisées pour introduire les préoccupations environnementales. En effet, ces équations permettront d'estimer la densité maximale de poissons nourris par l'aliment B et les deux aliments élaborés F1 et F2 pour atteindre une production optimale sans nuire à l'environnement. Notons que les éléments (PO_4^{3-}, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, MES, DCO) ont été analysés au cours de l'essai de grossissement.

Contrairement aux élevages terrestres dont les émissions dans le milieu aquatique passent par le filtre des sols, les rejets de la pisciculture sont directs et les impacts plus facilement identifiables. Cette caractéristique explique en partie l'attention qui leur est portée. Pourtant, la contribution des rejets piscicoles d'origine alimentaire à la pollution du milieu est limitée puisque la pisciculture consomme 0,5% de l'ensemble des aliments et que le poisson est un transformateur efficace de l'aliment, avec des indices de conversion proches de 1 chez la truite (Agreste, 2008). Pour améliorer l'insertion environnementale dans l'activité piscicole, il faut donc à la fois décrire, évaluer et comprendre les impacts, puis trouver des moyens de les réduire. Une première étape consiste à fixer une référence sur l'état du milieu pour suivre ensuite son évolution et les impacts éventuels des activités. Dans ce cadre, au-delà des analyses physico-chimiques, les approches basées sur la diversité des peuplements biologiques sont intéressantes car elles permettent d'évaluer les impacts en termes de fonctionnement des écosystèmes, la gestion des rejets polluants de la pisciculture nécessite l'utilisation d'outils opérationnels de simulation et de modélisation permettant la réduction des rejets à la source grâce à une amélioration de l'efficience de la production.

2. Résultats

D'après les résultats du tableau 57, les densités maximales pour l'aliment B et les régimes élaborés F1 et F2 engendrent des rejets ne dépassant pas les normes environnementaux pour l'ensemble des éléments analysés ainsi les rejets des deux régimes F1 et F1 sont bien faibles par rapport aux normes des rejets piscicoles.

Tableau 57 : Performances des deux formulations en fonction de leurs rejets.

	Volume m^3	Débit en m^3/h	Dates effectives de pesée	Temps	Nobre jour entre pesée	Nbr de jours (500-1000g)	Effectifs	Moyenne (g)	Ecart type	Coefficient de variation (%)	Biomasse (kg)	Densité (kg/m^3)	Charge ($kg/m^3/h$)	Aliment consommé (kg)	Phosphate (PO_4^{3-}) (mg/l)	Azote Amoniacale (NH_4^+) (mg/l)	Matière en Suspension (mg/l)	Nitrite NO_2^- (mg/l)	Nitrate NO_3^- (mg/l)	DCO (mg/l)
Aliment B	16	23,48	03/12/2016	J0	0		572	580,7	74,84	12,89	332,2	20,8	14,15	0	0,097	0,20	9,40	0,025	6,51	24,15
			31/12/2016	J28	28		572	831,6	103,71	12,47	475,7	29,7	20,26	115,80	0,103	0,25	10,00	0,030	7,08	25,08
			12/01/2017	J40	12		571	928,3	118,79	12,80	530,1	33,1	22,58	54,97	0,109	0,27	11,00	0,039	11,63	27,00
			22/01/2017	J50	10		570	1043,9	126,76	12,14	595,0	37,2	25,34	59,96	0,120	0,32	12,00	0,042	12,01	29,00
			Total		50	50 jours	570	1043,9	126,76	12,14	595,0	37,2	25,34	230,73	0,120	0,32	12,00	0,042	12,01	29,00
Formule 1	16	23,48	12/09/2017	J0	0		600	577,6	83,99	14,54	346,6	21,7	14,76	0	0,034	0,011	3,00	0,002	5,12	20,78
			27/09/2017	J15	15		600	687,6	89,98	13,09	412,6	25,8	17,57	26,60	0,045	0,024	3,50	0,010	5,89	21,05
			10/10/2017	J27	12		598	825,0	116,08	14,07	493,4	30,8	21,01	29,70	0,050	0,034	6,50	0,015	6,11	22,10
			27/10/2017	J43	16		593	988,0	111,01	11,24	585,9	36,6	24,95	41,90	0,078	0,042	8,00	0,022	6,18	22,80
			Total		43	43 jours	593	988,0	111,01	11,24	585,9	36,6	24,95	98,20	0,078	0,04	8,00	0,022	6,18	22,80
Formule 2	16	23,48	12/09/2017	J0	0		600	578,0	80,05	13,85	346,8	21,7	14,77	0	0,044	0,012	1,50	0,004	5,20	21,08
			27/09/2017	J15	15		599	715,2	97,29	13,60	428,4	26,8	18,25	28,50	0,048	0,015	2,00	0,012	5,67	21,15
			10/10/2017	J27	12		599	825,0	122,01	14,79	494,2	30,9	21,05	30,70	0,056	0,034	4,00	0,018	5,90	22,30
			27/10/2017	J43	16		595	1080,0	176,24	16,32	642,6	40,2	27,37	41,80	0,080	0,098	6,00	0,020	6,10	23,12
			Total		43	43 jours	595	1080,0	176,24	16,32	642,6	40,2	27,37	101,00	0,080	0,10	6,00	0,020	6,10	23,12

Seule la teneur de la DCO dépasse les normes puisqu'elle présente des concentrations de 29, 22 et 23 mg/l respectivement pour l'aliment B, F1 et F2.

Lors de notre essai expérimental où le cycle de croissance de la truite arc-en-ciel durant la phase d'engraissement (500-1000g) n'a duré que 43 jours, les quatre échantillons d'eau prélevés pour l'analyse physico-chimiques ont été insuffisants pour corréler les données de la densité et les rejets piscicoles ceci nous a poussé à estimer les biomasses afin de corréler les données.

A la lecture du tableau 58, F2 est la formulation qui présente la grande croisssance (1207,26 g) pendant une durée de 50 jours (500-1000g = phase de l'engraissement) avec une différence de poids de 163,41g par rapport à l'aliment B.

Tableau 58 : Croissance de la truite arc-en-ciel selon les trois aliments (B, F1 et F2).

Durée	Aliment B (poids en g)		Formule 1 (poids en g)		Formule 2 (poids en g)	
0	580,7	532,8	577,6	529,9	578,0	530,3
15	692,4	635,3	687,6	630,8	715,2	656,1
28	831,6	792,0	825,0	785,7	825,0	785,7
32	862,1	821,1	875,1	833,4	864,3	823,1
40	928,3	901,3	936,6	909,3	991,6	962,8
43	961,0	933,0	988,0	959,2	1080,0	1048,5
50	1043,9	1013,4	1065,9	1034,9	1207,3	1172,1

L'étude statistique a été réalisée en s'appuyant sur le logiciel XLstat®. Le test effectué est l'ANOVA à un facteur. Les deux régimes expérimentaux étaient bien acceptés par les poissons tout au long de l'essai. Les données du tableau 59 montrent que la croissance de la truite arc-en-ciel des trois aliments (B, F1 et F2) ne varient pas significativement ($p > 0,05$) entre les poids moyens des trois régimes et le test de Duncan montre qu'il n'y a pas une différence significative entre les poids finaux des trois aliments (B, F1 et F2).

Tableau 59 : Différence de croissance entre les trois aliments (B, F1 et F2)

Aliments	Poids final (g)	Différence de poids (g)
B	1043,85	22,08(B et F1)
F1	1065,93	163,41 (B et F2)
F2	1207,26	141,33 (F2 et F1)

La différence de croissance entre l'aliment B et F2 permet une minimisation de la quantité consommée par le poisson. D'aprés les chiffres calculés, l'utilisation de l'aliment élaboré F2 permet un gain de 1050 DH pour une opération de croissance identique.

Tableau 60 : Calcul économique de prix de revient entre aliment B et F2

Quantité d'aliment B (g)	Quantité d'aliment B (Kg)	Quantité d'aliment F2 (g)	Quantité d'aliment F2 (kg)	Nombre de sac d'aliment	Prix d'1 kg d'aliment (DH)	Quantité de l'aliment/sac (kg)	Différence du coût (DH)
81966,46	81,97	63337,72	63,34	3	14	25	1050

L'estimation de la densité maximale de production de la truite arc-en-ciel est réalisée par une corrélation entre la densité et les éléments physico-chimiques étudiés (PO_4^{3-}, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, MES et DCO) pour les trois aliments B, F1 et F2).

2.1. Aliment B

Les paramètres physico-chimiques ont été modélisés par des équations mathématiques selon les points de corrélation entre la densité et le paramètre en question. Pour l'aliment B, la densité de production maximale déterminée est ρ_B=176,35 Kg/m^3.

Tableau 61 : Modélisation par des équations mathématiques pour les rejets de l'aliment B.

Aliment B		
Éléments physico-chimiques	Fonctions mathématiques	Densité maximale
PO_4^{3-}	$Y= 0,073\ e^{0,012x}$ avec R^2=0,903	ρ=160 Kg/m^3
NH_4^+	$Y = 0,111e^{0,027x}$ avec $R^2 = 0,985$	ρ=55,74 Kg/m^3
NO_2^-	$Y = 0,012e^{0,032x}$ avec $R^2 = 0,929$	ρ=100 Kg/m^3
NO_3^-	$Y = 0,019x^2 - 0,778x + 13,93$ avec $R^2 = 0,812$	ρ=108,53 Kg/m^3
MES	$Y= 0,010x^2 - 0,440x + 14,06$ avec $R^2 = 0,988$	**ρ=176,35 Kg/m^3**
DCO	$Y= 18,92e^{0,010x}$ avec $R^2 = 0,874$	ρ=144,78 Kg/m^3

2.2. Aliment élaboré F1

Chaque paramètre est modélisé par une équation mathématique selon les points de corrélation entre la densité et le paramètre évalué. Pour l'aliment F1, la densité de production maximale est ρ_{F1}=175 Kg/m^3.

Tableau 62 : Modélisation par des équations mathématiques pour les rejets de l'aliment F1.

Aliment F1		
Éléments physico-chimiques	Fonctions mathématiques	Densité maximale
PO_4^{3-}	Y= 0,010e^{0,052x} avec R² = 0,958	ρ=75.33 Kg/m^3
NH_4^+	Y = 0,111e^{0,027x} avec R² = 0,985	ρ=55,74 Kg/m^3
NO_2^-	Y = -3E-05x^2 + 0,003x - 0,049 avec R² = 0,991	**ρ=175 Kg/m^3**
NO_3^-	Y = 0,019x^2 - 0,778x + 13,93 avec R² = 0,812	ρ=130,53 Kg/m^3
MES	Y = 0,620e^{0,071x} avec R² = 0,942	ρ=44,87 Kg/m^3
DCO	Y = 17,92 e^{0,006x} avec R² = 0,972	ρ=18,30 Kg/m^3

2.3. Aliment élaboré F2

De même, après avoir déterminé les fonctions mathématqiues pour chaque paramètre, la densité de production maximalepour l'aliment F2 est plus importante ρ_{F2}=237,09 Kg/m^3.

Tableau 63 : Modélisation par des équations mathématiques pour les rejets de l'aliment F2.

Aliment F2		
Éléments physico-chimiques	Fonctions mathématiques	Densité maximale
PO_4^{3-}	Y = 0,020e^{0,033x} avec R² = 0,978	**ρ=237,09 Kg/m^3**
NH_4^+	Y = 0,004x - 0,106 avec R² = 0,912	ρ=151,5 Kg/m^3
NO_2^-	Y = -6E-05x^2 + 0,004x - 0,072 avec R² = 0,994	ρ=22,5 Kg/m^3
NO_3^-	Y = -0,003x^2 + 0,236x + 1,498 avec R² = 0,999	ρ=145,5 Kg/m^3
MES	Y= 0,257x - 4,313 avec R² = 0,958	ρ=75,54 Kg/m^3
DCO	Y = 18,61e^{0,005x} avec R² = 0,911	ρ=14,04 Kg/m^3

D'après les résultats de modélisation des densités en fonction de paramètres physico-chimiques(PO_4^{3-}, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, MES et DCO), la production peut augmenter jusqu'à une densité de ρ_{F2}=237,09Kg/m^3 sans affecter la qualité de l'eau tout en respectant les normes exigées.

3. Discussion

L'impact de la pisciculture sur le milieu aquatique est essentiellement d'origine nutritionnelle résultant de l'alimentation des poissons.

Dans notre étude, les analyses physico-chimiques ont été réalisées pour chaque aliment. Plusieurs séries de prélèvement ont été effectuées simultanément à la sortie de la station pour obtenir des résultats représentatifs. Toutefois, le nombre d'échantillons à prélever pour l'étude des rejets d'une pisciculture pour une modélisation doit être suffisant pour être représentatif (Boujard et *al*., 1999 ; Jatteau et *al*., 1999).

la production de PO_4^{3-} est de 0,7 ; 0,8 et 1 kg par tonne de poissons produits respectivement pour les aliments F1, F2 et B. La faible concentration de PO_4^{3-} rejetée dans l'eau de sortie est liée à la quantité de phosphate disponible dans les aliments élaborés (F1 et F2). Le phosphore étant issue essentiellement de la farine de poissons pour la F2 et de gluten de maïs pour F1. La maitrise du processus de fabrication des aliments par extrusion est un paramètre essentiel dans la disponibilité du phosphore. Les valeurs enregistrées sont beaucoup faibles que celles trouvées par Burel et Médale (2014) qui rapportent que les aliments les plus récents ne produisent qu'environ 4,5 kg par tonne de production de phosphore.de poissons produits.

Beaucoup de travaux ont déjà été accomplis dans cette voie de réduction des rejets. Selon Enell (1987), grâce à des diminutions de 40% du taux de conversion (de 2,08 à 1,25) et de 59% de la concentration en phosphore dans l'aliment (de 1,7 à 0,7), les émissions de phosphore sont passées de 31 kg par tonne de poissons produits en 1974 à 4,8 kg par tonne en 1994, soit une réduction de 85%.

Pour l'azote ammoniacal, les deux formulations F1 et F2 rejetent une faible quantité de 0,4 kg et 0,1 kg de rejets azotés par tonne de poissons produits par rapport à l'aliment B qui émis 3 kg par tonne.

Pour les matières en suspension, 80 et 60 kg/tonne de poissons produits sont rejetés respectivement pour F1 et F2 alors que l'aliment B rejete 120kg/ tonne de poissons produits.

Ces améliorations ont été permises au départ par l'amélioration des techniques de production des aliments, notamment par l'utilisation des procédés d'extrusion à partir de 1984 (Johnsen et Wandsvik, 1991). Ces techniques ont permis de produire des aliments ayant une meilleure stabilité physique, d'augmenter la quantité de lipides en remplacement d'une partie des protéines, d'améliorer la digestibilité des hydrates de carbone tout en diminuant leur quantité au strict nécessaire pour la cohésion des granulés. Ceci a rendu possible la production des aliments haute énergie ayant une meilleure efficacité alimentaire et produisant moins de rejets.

La modélisation entre la densité et les éléments physico-chimiques étudiés (PO_4^{3-}, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, MES et DCO) des deux formulations (F1 et F2) faite par des équations mathématiques nous a permi de ressortir les densités maximales qui sont respectivement de ρ_B=176,35 Kg/m^3 ; ρ_{F1}=175 Kg/m^3 et ρ_{F2}=237,09Kg/m^{3}pour les trois aliments B , F1 et F2.

Nos résultats confirment que l'aliment F2 englobe tousles critères de performance de croissance avec un indice de conversion beaucoup plus bas d'une moyenne de IC_{F2}= 0,73 par rapport aux aliments F1 et B et que la densité maximale atteinte ρ_{F2}=237,09Kg/m^3 n'a pas d'effets négatifs sur la qualité de l'eau de l'Oued Oum Er-Rbia.

Ainsi la différence de la quantité des aliments consommés B et F2 est beaucoup plus importante avec un gain de 18,63 kg, cela permet de dire que l'aliment F2 permet une minimisation de la quantité consommée par le poisson ainsi d'aprés les chiffres calculés, on remarque que l'utilisation de l'aliment F2 permettra un gain de 1050DH. Donc le coût économique de cet aliment.

La réduction du prix de l'aliment est un paramètre qui conditionne le prix total de la production piscicole et permettra de réussir de point de vue socio-économique et donc assurer une durabilité de l'entreprise du domaine Ain Aghbal à Azrou.

SYNTHESE ET CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, il convient de rappeler les résultats de cette étude réalisée à la station du domaine Ain Aghbal à Azrou sur l'élaboration d'une formulation alimentaire performante et écologique qui répond aux exigences nutritionnelles et métaboliques de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792). C'est une recherche appliquée qui traite plusieurs chapitres à différentes phases de l'élevage, production et transformation de produit fini de la truite arc-en-ciel.

L'évolution de la qualité des eaux d'élevage de la truite arc-en-ciel nous a permis de dégager que les paramètres étudiés varient dans les normes recommandées pour une vie piscicole optimale. En effet, tous les paramètres étudiés ne dépassent pas les valeurs limites.

L'évolution des paramètres physiques présentent une similarité entre les saisons d'hiver et d'été. Celle des paramètres chimiques présente une faible différence entre les périodes de prélèvements.

Les résultats de la qualité physico-chimique de l'eau des sources d'Oum Er Rbia indiquent que cette eau répond aux exigences de l'élevage et permet une meilleure croissance de la truite arc-en-ciel.

La comparaison des trois aliments extrudés (A, B et C) de différentes compositions biochimiques et leurs effets sur les performances zootechniques de la truite arc-en-ciel à différentes phases de production (prégrossissement et grossissement) a montré que l'aliment extrudé B est caractérisé par sa teneur en énergie, sa digestibilité performante, son meilleur ratio protéine digestible/énergie digestible et son niveau d'énergie non protéique déterminant. C'est l'aliment qui offre à la truite les meilleures performances de croissance avec un faible indice de conversion (ICb=0,9). Des excellents résultats en terme de composition biochimique de la chair de truites nourrie par l'aliment B ont été trouvés avec un tauxélevé en oméga 3 et en oméga 6 ; aussi une meilleure coloration rouge foncée de la chair.

Sur le plan environnemental, l'étude de l'effet des rejets des trois aliments extrudés (A, B et C) sur la qualité de l'eau de l'Oued Oum Er-Rbiaa montré que l'aliment extrudé B est quasi-digeste et les rejets piscicoles sont très réduits par rapport à ceux provenant des bassins où la truite a été alimenté par les aliments A et C, sachant que

l'aliment B contient 41% du taux de protéines dans sa composition biochimique par rapport à l'aliment A qui contient 39% de protéines et malgré ce taux de protéines relativement faible, l'eau rejetée des bassins avec la truite nourrie avec l'aliment A contient plus d'azote 0,36mg/l contre 0,32mg/l d'azote rejetée des bassins avec l'aliment B.

La deuxième partie a été consacrée à l'élaboration de deux formulations (F1 et F2) performantes et écologiques en se basant sur les premiers résultats. En effet, l'essai comparatif des trois aliments (A, B et C) réalisé au sein de la station de grossissement Oum Er-Rbia nous a permis de retenir que l'aliment B a présenté une meilleure performance zootechnique et un faible rejet de déchets. Ceci nous a permis à le prendre comme aliment de référence pour élaborer une nouvelle formulation alimentaire pour le grossissement (500-1000g) avec des matières premières marocaines selon les exigences socio-économique de la société Domaine Ain Aghbal-Azrou.

Dans ce sens, les recommandations de cet essai sur l'enjeu de l'interaction économie / environnement ont permis de poursuivre la recherche afin d'élaborer un propre aliment idéal et écologique qui répond aux exigences nutritionnelles de la truite arc-en-ciel et qui n'affectent pas l'environnement.

Deux formulations ont était élaborés (F1 et F2), la formule F1 avec 60% de matières premières d'origine végétale et 40% d'origine animale, et la formule F2 est composée de 60% de matières premières d'origine animale et 40% de matières premières d'origine végétale.

Lors des essais de grossissement, les deux formules élaborées étaient bien acceptées par la truite avec une température de l'eau qui oscille entre 13,9 et 14,1°C.

Les résultats de l'essai expérimental montrent que les performances des paramètres zootechniques ne montrent pas de différence significative (p>0,05) entre les deux formulations (F1 et F2) car les poids finaux des poissons sont compris entre F1=988 g et F2=1080g.

Les résultats concernant la conversion alimentaire des poissons soumis aux différents régimes montrent que la formule F2 est plus efficace que le régime B. En effet, le meilleur taux de conversion alimentaire observé est présent pour le régime de la formule F2 avec IC_{F2}=0,73.

SYNTHESE ET CONCLUSION GENERALE

Sur la base des résultats de cette étude, nous pouvons conclure que le contrôle et la gestion de l'alimentation sont essentiels au maintien et à l'amélioration de la qualité de la chair chez les poissons d'élevage. Des études ultérieures doivent être poursuivies en tenant compte de l'évolution des formulations des aliments comme l'augmentation de la teneur en lipides mais aussi le remplacement des matières premières comme la farine de poisson par des protéines d'origine végétale. La richesse des poissons en acides gras polyinsaturés font qu'ils sont très sensibles aux phénomènes d'oxydation.

Les résultats de recherche dans le domaine de la nutrition des poissons ont été utilisés par l'industrie pour modifier de manière significative la composition des aliments aquacoles. Les ingrédients végétaux sont maintenant majoritaires dans l'alimentation de toutes les espèces aquacoles. Le choix des ingrédients et la formulation des aliments ont été basés sur les réponses des différentes espèces aux différents substituts végétaux, et l'adaptation des procédés technologiques a permis d'améliorer les qualités nutritionnelles des composés végétaux.

PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS

La pisciculture au Maroc est devenue l'une des industries les plus importantes faisant de notre pays le premier producteur des truites en Afrique. En raison de sa forte expansion, cette activité pose un nombre croissant de défis environnementaux à relever : la consommation de ressources marines pour l'alimentation des truites d'élevage, la maîtrise des rejets et de leur impact sur l'environnement. La salmoniculture semble se tourner vers une production plus durable. Des efforts concernant la substitution des produits halieutiques par des produits végétaux dans l'alimentation, la réduction des intrants et la valorisation des rejets ont été réalisées par les firmes d'alimentation et les piscicultures. D'autres branches de l'aquaculture se tournent vers une production écologiquement plus durable.

D'une manière générale et majeure, pour une durabilité de l'aquaculture il faut :

1) Favoriser un panel de matières premières le plus large possible à destination de l'aquaculture. Cette diversité permettra de proposer un aliment économiquement accessible tout en maintenant la qualité des produits, et en étant en accord avec une réglementation stricte. Pour avoir une bonne ration, les formulateurs doivent disposer d'un éventail large et flexible.

2) Développer des démarches de productions locales, pour l'approvisionnement en matières premières pour l'alimentation aquacole, tout en garantissant la durabilité de ces matières premières sur tous les critères.

3) Appuyer les programmes de recherche qui permettent de démontrer le potentiel et l'utilisation durable de diverses matières premières d'origine végétale et aussi l'incorporation des algues en alimentation aquacole. En matière de recherche et développement, il ne faut pas avoir de priori contre une matière première. Il s'agit de se donner du temps pour l'évaluer et objectiver le résultat.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AAFCO (Association of American Feed Control Officials)., 2000. Official Publication, Association of American Feed Control Officia ls Inc. West Lafayette,IN 47971 USA, 444p. www.aafco.org.

Aba M., Belghyti D., Benabid M., Elguamri Y., Maychal A., 2011. Effets de deux aliments pressés et extrudés sur les performances de croissance et la qualité de la chair de la truite arc-en-ciel(*Oncorhynchusmykiss*) (2011). Sciencelib Editions Mersenne, volume 3 N°111004.

Abissy M., Mandi L., 1999. Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : cas du Roseau. Rev. Sci. Eau, 12, 285-316.

Ackefors, H., M. Enell., 1994. The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. Journal of Applied Ichthyology, 10 : 225-241.

ADAPRA., 2005. Association pour le développement de l'aquaculture et de la péche en Rhone-Alpes. L'oxygénation et l'aération en pisciculture : Etat des lieux, matériels, innovation technique. Journée–rencontres du 25 mai 2005.

Adron lW., Blair A., Cowey C.B ., Shanks A.M., 1976. Effects of dietary energy level and dietary .energy source on growth, feed conversion and body composition of turbot (Scophtalmus maximus . Aquaculture, 7,125-132.

AFNOR., 1983. Recueil de normes françaises des eaux : méthodes d'essais. Paris.

Agger P., Bagge O., Hansen O., Hoff man E., Holden M. J., Kesteven G. L., Knudsen H., Raitt D. F. S., Saville A., Williams T., 1974. Manuel de science halieutique. Deuxième partie – Méthodes de recherches sur les ressources et leur application. Documents techniques FAO sur les pêches : 117 Rev. 1 [en ligne] Rome, FAO : format htm. Disponible sur : (consulté le 17.11.2012).

Agreste., 2008. Résultats nationaux sur les matières premières de l'alimentation animale 2006.Agreste chiffres et données agroalimentaires 155.

Akiyama D., Hunter B., 2000. A review of the Asian aquafeed industry, pp.36-38. International Aquafeed Directory et Buyers Guide 2001. Turret RAI plc,Uxbridge, UK.

Alexis M.N., Papaparaskevapapoutsoglou E., Theochari V., 1985. Formulation of practical diets for rainbow-trout (Salmo-Gairdneri) made by partial or complete substitution of fish-meal by poultry by-products and .certain plant by-products. Aquaculture, 50,61-73.

Alliot E., Pastoureaud A., Nedellec l., 1979. Etude de l'apport calorique et du rapport calorico-azoté .

AOAC (Association of Official Analytical Chemists)., 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15th Edition. AOAC, Arlington Virgina, USA quafeed development in the new millennium, pp.4-25. International Aquafeed. Directory et Buyers Guide 2001, Turret RAI plc, Uxbridge, Middlesex, UK

Arnould R., 1972. Proteines et acides amines en nutrition humaine et animale Ed. De Vyst A.

Arrignon J., 1998. Aménagement piscicole des eaux douces, 5éme éd. (Paris : Lavoisier, TEC & DOC).

Arzel J., Lopez F.X.M., Métailler R., Stéphan G., Viau M., Gandemer G., Guillaume J., 1994. Effect of dietary lipid on growth performance and body composition of brown trout (Salmo trutta) reared in seawater. Aquaculture 123, 361- 375.

Azevedo P.A., Cho C.Y., Leeson S., Bureau D.P., 1998. Effects of feeding level and water temperature on growth, nutrient and energy utilization and waste outputs of rainbow trout (Oncorhy nchus my kiss). Aquat. Living Resour. Il (4) : 227-238.

Azevedo P.A., Leeson S., Cho C.Y ., Bureau D.P., 2004. Growth, nitrogen and energy utilization of juveniles from four salmonid species: diet, species and size effects, "Aquaculture 234, 393–414. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.01.004.

Baker R., Ayles G., 1990. The effect of varying density and loading level on the grouth arcticchor (salvelinus alpinus)and Rainbout trout (Onchorhynkiss Mykiss).world aquaculture Rep .,21 .p.58-61.

Barnabé G., 1991. Bases biologiques et écologiques de l'aquaculture. Ed. Lavoisier, Paris, 500 p.

Barnham C et Baxter A., 1998. Condition Factor, K, for Salmonid Fish. 3 Victoria: Fisheries Notes, 3 p.

Bastianelli D., Bonnal L., Barre P., Nabeneza S., Salgado P., Andueza D., 2019. La spectrométrie dans le proche infrarouge pour la caractérisation des ressources alimentaires. INRA Productions Animales, 31(3), 37-254. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2018.31.2.2330

Beamish F. W.H., Medland T E., 1986. Protein spanng effects In large rainbow trout, Salma gairdneri. Aquaculture, 55, 35-42.

Beamish F.W.H., Thomas E., 1984. Effects of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout, Salma gairdneri. Aquaculture, 41, 359-373.

Behnke R.J. 1992. Native trout of Western North America, American Fisheries Society, Methesda (Maryland), 235 p.

Bellet R.,1977. Coefficient de transformation des aliments granules complets en salmoniculture.Pisc. Fr., 49:7-11

Bell J.G., Cowey C.B., 1985. Roles of vitamin E and selenium in the prevention of pathologies related to fatty acid oxidation in salmonids. In C.B.Cowey, A.M. Mackie & J.G.Bell, eds. Nutrition and feeding in fish, 333–347 p. London, Academic Press.

Benchabane S., Vandenberg G., Subirade M., 2005. Optimisation de la production de microcapsules de phytase par séchage par atomisation. Aquaculture Canada. Aquacul. Assoc. Canada, Publ. No. 9.

Bencze Rora A. M., 2001. Primary processing (Evisceration and filleting). In "Farmed Fish Quality" (S. C. Kestin, and P. D. Warris, eds.). Blackwell Science, Bristol, UK. pp. 249-260.

Bernard J., 2010. Guide de la truite arc en ciel, de la biologie à l'élevage p.213

Bjerkeng B., Folling M., Lagocki S., Storebakken T., Oili J.J., Alsted N., 1997. Bioavailability of all-E-astaxanthin and Z-isomers of astaxanthin in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Aquaculture, 157,63-82.

Blancheton .J.P., 2009. Cahiers Agricultures. Volume 18, Numéro 2-3, 227-34.

Blancheton J.P., Dosdat, A., Deslous Paoli, J.M., 2004. Minimisation des rejets biologiques issus d'élevages de poissons. Aquaculture et Environnement, 67-78.

Boujard, T., Vallée, F., Vachot, C., 1999. Évaluation des rejets d'origine nutritionnelle de truiticultures par la méthode des bilans, comparaison avec les flux sortants. Dossier de l'environnement de l'INRA n°26.

Brauge C., Médale F., Corraze G ., 1994. Effect of dietary carbohydrate levels on growth, body composition and glycaemia in rainbow trout, Oncorhynchus mykiss, reared in seawater, " Aquaculture 123, 109–120. https://prodinra.inra.fr/record/115983.

Brett J. R., Shelbourn J. E., Shoop C. T., 1969. Growth rate and body composition of Oncorhynchusnerka, in relation to temperature and ration size.Fingerling sockeye salmon. J. Fish. Res. Board of Can. Vol. 26, 9, 2363-2394.

Burel C., Médale F., 2014. Protein source in animal feed. Guide d'utilisation des protéines d'origine végétale en aquaculture. OCL, Aquapole INRA.21(4).

Burel C., Boujard T., Escaffre A.M., Kaushik S.J., Boeuf G., Mol K.A., Van Der Geyten S., Kühn E.R., 2000. Dietary low-glucosinolate rapeseed meal affects thyroid status and nutrient utilization in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Br. J. Nutr., 83, 653-664.

Calvez S., 2013. Elevage de la truite arc en ciel, alimentation et milieu. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Unité pédagogique d'Aquaculture.

Carter C.G., Hauler R.C., 2000. Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, Salmo salar L. Aquaculture, 185,299-311.

Cavériviére A., 1990. Le régime alimentaires des principales espéces démersales de cotes d'Ivoire.In FAO,rapport du groupe de travailad'hoc sur les stocks démersaux de la région du Golf de Guiné Ouest (division statistique 34 .3.4)COPACE/PACE serie 89/48.

Cha J.Y., Flores R.A., Park, H.,2000. Reduction of carotenoids in corn gluten meal with soy fiouf. Transactions of the ASAE, 43, 1169-1174.

Chaiyapechara S., Casten M.T., Hardy R.W., Dong F. M., 2003. Fish performance, fillet characteristics,and health assessment index of rainbowtrout (Oncorhynchusmykiss) fed diets containing adequate high concentrations of ipid and vitamin E, " Aquaculture2003, 219: 715-738.

Chevanan N., Rosentrater K.A., Muthukumarappan K., 2010. Effects of processing conditions on single screw extrusion of feed ingredients containing DDGS. Food and Bioprocess Technology 3:111- 120.

Cho C.Y., Kaushik S J 1985. Effect of protein intake on metabolizable and net energy values of fish diets.In : Nutrition and feeding of Fish,, C.B. Cowey. A.M. Mackie and J.G Bell (Eds). Academic Press, London. Pp 95- 117.

Cho C.Y., Kaushik S.J., 1990. Nutritiona1 energetics in fish: Protein and energy utilization in rainbow trout, " In .' Aspects of food production, consumption and energy values (G.H. Boume, Ed). World Rev. Anim. Nutr., 61,132-172.

Cho C.Y., 1992. Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. Aquaculture 100, 107–123.

Cho C.Y., Bureau D.P., 1991. Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. Aquat. Living Resour. Il (4):199-210.

Cho C.Y., Bureau D.P., 2001. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. Aquaculture Research 32 (1): 349-360.

Cho C.Y., Hynes J D., Wood K R., Yoshida H.K., 1991. Quantitation of fish culture wastes by biological (nutritional) and chemical (limnological) methods; the development of high nutrient dense (HND) diets. DANS : C.B. Cowey et C.Y. Cho (eds.). Nutritional Strategies and Aquaculture Waste. Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste. University of Guelph, Guelph, Ontario, p. 37-50.

Cho C.Y., Slinger S.J., Bayley H.S., 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity. Comp. Biochem. Physiol., 73B, 25-41.

Choubert G., 1985. Effects of starvation and feeding on canthaxanthin depletion in the muscle of rainbow trout (Salmo gairdneri Rich.). Aquaculture, 46, 293-298.

Choubert G., Storebakken T., 1989. Dose response to astaxanthin and canthaxanthin pigmentation of rainbow trout fed various dietary carotenoid concentrations. Aquaculture 81, 69–77.

Code de l'environnement., 2015. Partie législative, Livre IV, Titre III, Chapitre Ier,Section 3, Article L431-6 (Mise à jour le 16/04/15). In : Legifrance

Corraze G., Kaushik S.J., 1999. Les lipides des poissons marins et d'eau douce. OCL 6, 111-115.

Corraze G., Kaushik S., 2009. Alimentation lipidique et remplacement des huiles de poisson par des huiles végétales en pisciculture. Cahier Agricol, vol. 18, n° 2-3.

Correl D.L., 1998. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters : a review. Journal of Environmental Quality, 27 : 261-266.

Cosgrove J.P., Church D. F., 1987. The kinetics of the autoxidation of polyunsaturated fatty acids. Lipids 22(5): 29 D. F. 9-304.

Cowey C. B., 1993. Some effects of nutrition on flesh quality of cultured fish. In: Fish Nutrition in Practice (Eds: Kaushik, S.J., Luquet, P.) Proc. IV Int. Symp. Fish Nutrition and feeding, Les colloques INRA, n°61, Editions INRA, Paris, France, pp. 227-236.

Cowey C.B., 1992. Nutrition : Estimating requirements ofrainbow trout. Aquaculture, 100, 177-189.

Craig S., Helfrich L. A., 2002. Understanding Fish Nutrition, Feeds, and Feeding, Virginia Cooperative Extension, Publication Number 420-256.

Cripps S.J., 1994. Minimizing outputs: treatment. Journal of Applied Ichthyology, 102 : 84-294.

Cripps, S.J., L.A. Kelly., 1995. Effluent treatment to meet discharge consents. Trout News, 20 : 15-24.

Cui Y., Wootton R l., 1988. Bioenergetics of growth of a cyprinids, Phoxinus phoxinus: the effect of ration, temperature and body size on food consumption, faecal production and nitrogenous excretion. J. Exp. Biol., 33: 431-443.

Darschnik V.S., Schumacher H., 1987. Trout farms causing disturbance in the natural stream continuum. Archiv für Hydrobiologie, 110, 409-439.

De la Noüe J et Ouellet G., 1992. Élevage des salmonidés, fascicule 5 : Nutrition. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec, 38 p.

De Silva S.S., 2006. Reducing feed costs in aquaculture: Is the use of mixed feeding schedules the answer for semi-intensive practices? Aquaculture Asia Magazine Vol. XI, No. 4, October-December.

Dias L., Alvarez MJ., Diez A., Arzel l., Corraze G., Bautista lM., Kaushik SJ., 1998. Regulation of hepatic lipogenesis by dietary protein / energy in juvenile European seabass (Dieentrarehus labrax). Aquaculture, 161, 169-186

Djamel R., 1989. Magrebe vétérinaire vol 05 numéro 21.

Dosdat A., 1992a. L'excrétion chez les poissons téléostéens : I - Azote. La pisciculture française, 108 : 25-40.

Dosdat A., 1992b. L'excrétion chez les poissons téléostéens : II - Le phosphore. La pisciculture française, no. 109 : 18-29.

Dosdat A., Le Ruyet J P., Coves D., Dutto G., Gasset D., Le Roux A and Lamarie G ., 2003. Effect of chronic exposure to ammonia on growth, food utilisation and metabolism of the European sea bass (Dicentrarchuslabrax). Aquat Living Resour.16 (6):509-520.https://doi.org/10.1016/j.aquliv.2003.08.001.

Ducatteau P F.J.E., 2015. Pisciculture : Bilan Sur Les modes d'élevage et perspectives en matière de durabilité environnementale.exemple du saumon atlantique en norvège. École nationale vétérinaire d'alfort, la faculté de médecine de créteil, France.

Durbin E.G., Durbin A.G., 1981. Assimilation efficiency and nitrogen excretion of a filter-feeding planktivore, the atIantic menhaden, Brevoortia tyrannus (pisces: Clupeidae). Fish. Bull., 79 (4): 601-616.

Einen O., Roem A J.,1997. Dietary protein/energy ratios for Atlantic salmon in relation to fish size: growth, feed utilization and slaughter quality. Aquaculture Nutrition 3, 115-126.

Einen O., Skrede G., 1998. Quality characteristics in raw and smoked fillets of Atlantic salmon (Salmo salar) fed high energy diets. Aquacult. Nutr. 4, 99- 108.

EL Hamoury B., Jellal J., Outabiht H., Nebri B., Khallayoune K., Benkerroum A., Hatli A., Firadi R., 1995. The performance of a high rate algal pond in the marrocan climate. Wat. Sci. Tech., 31, 67-74–736p. https://doi:10.1016/j.aquaculture.2007.09.006

El-Dash A.A.,1981. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: Cereals: a renewable resource, theory and practice, Y. Pomeranz & L. Munich, (&aEds.), pp.165-216, American Association of Cereal Chemists.

Elliottl M., 1976. Energy losses in the waste products of brown trout (Sa/mo trutta L.). J. Anim. Ecol., 45: 561-580.

El-Shemy Hany A., 2011. Nutritional Value of Soybean Meal, Biochemistry and Molecular Biology, Biochemistry Department, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza Egypt

Enell, M., 1987. Environmental impact of cage fish farming with special refrence to

Erik, J.E., David A.H., Anthony P. F., 2007. Effect of iso-energetic diets with different protein lipid content on the growth performance and heat increment of rainbow trout, Aquaculture 272 .723.

FAO., 2009. Oncorhynchus Mykiss. In Cultured aquatic species fact sheets. Text by Cowx, I. G. Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New. CD-ROM (multilingual).

FAO., 2010. Gestion des pêches. 2. L'approche écosystémique des pêches. Les dimensions humaines de l'approche écosystémique des pêches. Directives techniques pour une pêche responsable n° 4, suppl. 2, Add. 2. Rome, 98 pp.

FAO., 2012. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Rome. 1-261

FAO., 2018. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2018. Atteindre les objectifs de développement durable. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Fauconneau B., Lebail P Y., Mady M.P., 1988. Effets de différents facteurs de croissance sur la composition corporelle chez les salmonidés. Compte Rendu Réunion Scientifique S.I.EA. sur Bases Biologiques de l'Aquaculture, Saint Pée/Nivelle, Octobre 1988.

Fellows P., 2000. Food processing technology: principles and practice, (2nd ed.), CRC Press, ISBN 978-084-9308-87-1 Boca Raton, United States of America.

Fivelstad S., Binde M., 1994. Effect of reduced waterflow (incresed loqding) in soft water on atlantic salmon smolts (Salmon Salar L.) while maintaining oxyegen at constant level by oxygenation of the intel water.Aquaculture.Eng., 13,p.211-238.

Flimlin G., Suigiura S., Ferraris., P R., 2003. Examining phosphorus in effluents from rainbow trout (Onchorynkiss Mykiss) .Aquaculture, rutgure cooperative extension bulletin (E287), p.6.(2003).

Folch J., Lees M ., Sloane-Stanleyg H S., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues, " J. Biol. Chem, vol. 226,pp. 497-509.

Gomes E.F., Rema P & Kaushik S.l., 1995. Replacement of Fish-Meal by Plant-Proteins in the Diet of Rainbow-Trout (Oncorhynchus-Mykiss) - Digestibility and GrowthPerformance. Aquaculture, 130, 177-186.

Green J.A., Hardy R.W., 2002. The optimum dietary essential amino acid pattern for rainbow trout (Oncorhynchus mykiss), to maximize nitrogen retention and minimize nitrogen excretion. Fish. Physiol. Biochem. 27: 97–108.

Guy R., 2001. Extrusion Cooking : Technologies and Applications. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, Cambridge, UK. pp. 89.

Guyennet F., 2000. La salmoniculture un secteur en mutation. Agreste Cahiers n° 1, Mars. Pp : 23-33.

Halver J.E., 2002. The vitamins. In J.E. Halver & R.W. Hardy, eds. Fish nutrition, 3rd Edn., pp. 61–141. New York, Academic Press Inc.

Hardy R.W., Gatlin III D. M., 2002. Nutritional strategies to reduce nutrient losses in intensive aquaculture. In: Cruz-Suarez, L. E. , Ricque-Marie, D. , Tapia-Salaza, M. , Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). Avences en Nutricion Acuicola VI. Memorias deI VI Simposium Intemacional de Nutricion Acuicola. 3 al 6 de Septiembre deI 2002. Cancun, Quintana Roo, Mexico.

Hardy R.W., 1996. Alternate protein sources for salmon and trout diets. Anim. Feed. Sci. Tech., 59,71-80.

Hardy R.W., 2002. Rainbow trout Oncorhynchus mykiss -14. In Webster, C.D and Lim. C. Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture. CAB international: 184-202.

Hardy R.W., 2003. Carbohydrate utilisation: Omnivorous v. Carnivorous fish

Hargreaves, 1998 . Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. Aquaculture.1998 ; 166 : 181-212

Hasnaoui M., Droussi M., 2018. Developement of aquaculture in Moroccan dam lakes for climate change adaptation. Intenational conference on aquaculture and Marine Biology. J. Mar Biol Oceanogr, vol.7. https://DOI: 10.4171/ 2324-8661-C1-011.

Hasnaoui M., Souissi S., Kassila J., Droussi M., Loudiki M.,2002. Variabilité des descripteurs physiques, chimiques et phytoplanctonique dans des étangs d'alevinage (station de la Deroua, Béni-Mellal, Maroc). Revue des sciences de l'eau, 15(1), 359–369. https://doi.org/10.7202/705459.

HCEFLCD., 2013. Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la lutte contre la désertification . Rapport annuel de la pêche saison 2012/2013. Rabat, 24pp.

HCEFLCD., 2014. Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification .Rapport annuel de la pêche saison 2013/2014. Rabat, 31 p.

HCEFLCD.,2017. Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification .Rapport annuel de la pêche saison 2016/2017. Rabat, 8 p.

Hemre G I., Lie O., Sundby A., 1993. Dietary carbohydrate utilization in cod (Gadus morhua): Metabolic responses to feeding and fasting. Fish Physiol. Biochem. 10, 455-463.

Henderson R J., Tocher D.R., 1987. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. Prog. Lipid Res., 26, 281-347.

Higgs D.A., Macdonald J.S., Livings C.D., Dosanjh B. 1995. Nutrition and feeding habits in relation to life history stage". In: Groot, C., Margolis, L., Clarke, W.C. (Eds.), Physiological Ecology of Pacific Salmon. UBC Press, Vancouver, pp. 161–315.1995.

Hillestad M., Johnsen F., 1994. High energy/ low protein diets for atlantic salmon: effects on growth, nutrient retention and slaughter quality. Aquaculture 124, 109-116.

Hillestad M., Johnsen F., Austreng E., Âsgârd T., 1998. Long-term effects of dietary fat level and feeding rate on growth, feed utilisation and carcass quality of Atlantic salmon. Aquacult. Nutr., 4, 89-97.

Hilton J.W., Slinger S.J., 1981. Nutrition et alimentation de la truite arc-en-ciel, Pub!.spéc. can. sci. halieut. aquat., 55F: 17 p.

Huber G. R., Rokey G. J.,1990. Extruded snacks. In: Snack food, R. G. Booth, (Ed.), pp.107-138, Van Nostrand Reinhold, ISBN 978-044-2237-45-5, New York, United States of America.

INRA., 2006. L'Institut national de la recherche agronomique. La cuisson-extrusion : un procédé aux multiples applications.

Jatteau P., Kempf M., Petit J., 1999. Modalités de prise en compte des causes et effets lors des études d'impact. INRA, Paris. in : Environnement et aquaculture : t1 Aspects techniques et économiques, PETIT J. : 87-92.

Jimenez del Rio M., Ramazanov Z., Garcia-Reina G., 1996. Ulva rigida (Ulvales, Chlorophyta) tank culture as biofilters for dissolved inorganic nitrogen from fishpond effluents. Hydrobiologia, 326-327, 61-66

Jobling M., 1980. Effects of starvation on proximate chemical composition and energy utilization of plaice, Pleuronectes platessa L. J. Fish Biol. 17, 325-334.

Jobling M., Koskela J., Savolainen R., 1998. Influence of dietary fat level and increased adiposity on growth and fat deposition in rainbow trout, Oncorhynchus mykiss (Walbaum). Aquacult. Res. 29, 601-607.

Johansson L., Kiessling A., Kiessling K.H., Berglund L., 2000. Effects of altered ration levels on sens ory characteristics, lipid content and fatty acid composition of rainbow trout Oncorhynchus mykiss. Food quality and Preference, Il,247-254.

Johnsen R.I., Grahl-Nielsen O., Roem A., 2000. Relative absorption of fatty acids by Atlantic salmon Salmo salar from different diets, as evaluated by multivariable statistics. Aquacult. Nutr. 6, 255-261.

Johnsen, F., Wandsvik, A., 1991. The impact of high energy diets on pollution control in the fish farming industry. ln : Nutritional strategies and Aquaculture waste. C.B. Cowey and C. Y. Cho (Eds.), 51-63.

Josephson D B., 1991. Seafoods. In: Volatil compounds in food and beverage (Ed: Maarse, H.) Marcel Dekker New York, pp. 179-202.

Kaushik S J., 1980. Influence of nutritional status pon the daily patterns of nitrogen excretion in the carp (Cyprinus carpio L) and the Rainbow trout (Salmo gairdneri R) .Repord .Nutr.Devlo., 20(6),1751- 1765.

Kaushik S., 1996. Problèmes et perspectives en production animale en milieu aquatique. Communication à l'Académie de Médecine, 12 nov 1996, Paris.

Kaushik S.J., 1997. Nutrition-alimentation et composition corporelle chez le poisson. Cah. Nutr. Diet. 32, 100-106.

Kaushik S.J. 2000. Feed formulation, diet development and feed technology. CIHEAM, 43-51.

Kaushik S.J. 2005. Besoins et apport en phosphore chez les poissons. INRA Prod. Anim., 18 (3), pp. 203-208.

Kaushik S.J., Oliva-teles A., 1984. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbowtrout, " Aquaculture, 50, 89-101.

Kaushik S.J., C.B. Cowey., 1991. Dietary factors afecting nitrogen excretion by fish. dans : c.b. cowey et c.y. cho (eds.). Nutritional Strategies and Aquaculture Waste. Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste. University of Guelph, Guelph, Ontario, p. 3- 19.

Kaushik S.J., Coves D., Dutto G., Blanc D., 2004. Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, Dicentrarchus labrax. Aquaculture, 230, 391-404.

Kelly F.J., 1991. The metabolic role of n–3 polyunsaturated fatty acids: relationship to human disease. Comp. Biochem. Physiol. 98(A), 581–585.

Kesteven G. L., 1974. Manuel de science halieutique. Première partie – Introduction à la science halieutique. Documents techniques FAO sur les pêches : 118 [en ligne] Rome : FAO, format PDF, 54 p. Disponible sur : (consulté le 17.11.2012).

Kim l D., Pascaud M., Kaushik S.1.,1988. Effets des taux lipidiques et protéiques alimentaires sur la croissance et la composition en acides gras du muscle chez la truite arc-en-ciel. Ichtyophysiol. Acta, 12,7-25.

Kissil G.W., Lupatsch 1., Higgs D.A., Hardy, R.W., 2000. Dietary substitution of soy and rapeseed protein concentrates for fish meal, and their effects on growth and nutrient utilization in gilthead seabream (Sparus aurata L). Aquacult. Res., 31,595-601.

Kolditz Catherine-Inès., 2008. Déterminisme nutritionnel et génétique de la teneur en lipides musculaires chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) : étude par analyse de l'expression de gènes candidats, du protéome et du transcriptome du foie et du muscle. école doctorale des sciences de la vie et de la santé, l'université bordeaux 1.

Kormas K A., Nicolaidou A., Reizopolou S.,2001. Temporal variations of nutrients chlorophyll a and Particulate Matter in three coastal Lagoons of Amvrakikos gulf (Ionian Sea, Greece). Mar Ecol 22:201-213.

KritihiA., OuaissaK., OumessoudY., MaychalA ., Hasnaoui M., 2017. Biochemical and enzymatic characterization of a Gram-negative fish pathogen isolated in Morocco from Rainbow trout. Journal Aquatic Res Development 2017, 8: 2 (Suppl) http://dx.doi.org/10.4172/2155-9546.C1.015.

Laird L.M., Needham M., 1988. Salmon and trout farming. Ellis Horwood, Chichester, West Sussex, England, 271 pp.

Lall S.P., 1991. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish.

Lareau S., Champagne R., Gilbert E., Vandenberg G., 2004. Rapport sur les missions d'évaluation de la technologie danoise pour l'élevage en eau douce des salmonidés.

Lazard J., 2009. La pisciculture des tilpias. Cah. Agr., 18, 174-182.

Le cren E.D.,1977. The determination of the âge and growth of the Perch (Perçafluviatilis) from the opercular bone.J. An. Eco. 16, p.188-204.

Le François P.,2009. Système de captage des matières décantables dans un étang, Maîtrise des Sciences appliquées, Ecole polytechnique de Montréal.

Lee DJ., Putnam G B., 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios n a test diet. J. Nutr., 103,916-922.

Lemarié G., Martin J.L., Dutto M, G., Garidou C., 1998. Nitrogenous and phosphorous waste production in flow-through land-based farm of European seabass (Disentrarchus labrax). Aquatic Living Ressources 11, 247-254.

Liang Y U., 2011. Extrusion processing of protein rich food formulations. Department of Food Science and Agricultural Chemistry. McGill University, Montreal. August 2011.

Lim S.R., Choi S.M., Wang X.J., Kim K.W., Shin I.S., Min T.S., Bai, S.C., 2004. Effects of dehulled soybean meal as a fish meal replacer in diets for fingerling and growing Korean rockfish Sebastes schlegeli. Aquaculture, 231,457-468.

Lindsay R.C., 1990. Fish flavours. Food Rev. Int. 6, 437-455.

Lellis W.A., Barrows F.T., Hardy R.W., 2004. Effects of phase-feeding dietary phosphorus on survival, growth and processing characteristics of rainbow trout Oncorhynchus mykiss. Aquaculture 242, Issues 1-4: 607-616.

Luquet P., 1971. La Pisciculture française - 442 (11a) II trimester.

Luquet P., 1975. La Pisciculture française - 442 (11a) II trimestre

Mäkinen T., Ruohonen K., 1990. The effect of rearing density on the growth of Finnish rainbow trout (Oncorhynchus mykiss Walbaum 1792). Journal of Applied Ichthyology, 6: 193- 203.

Mantzavrakos E ., Kornaros M., Lyberatos G ., Kaspiris P .,2007.Impact of marine fish farm in Agrolikos Gulf (Greece) on the water column and the sediment. Desalination 210: 110-124.

MAPAQ., 1996. Élevage des salmonidés: Nutrition. Fascicule 5.38 p.

Marie D.,1983. Toxicitè des composès Azotès en salmonicultures et domaines d'application.Pisc.Fr.71:5-18.

Mathieu J L., 1981. Solubilitè de l'oxygène dans l'eau salèe et relations entre conductivitè, salinitè et densitè de l'eau salès.Pisc.Fr,.65 :35-65

Matthews K.R. et Berg N.H., 1997. Rainbow Trout Responses to Water Temperature and Dissolved Oxygen Stress in Two Southern California Stream Pools. J. Fish Biol. 50, 50-67.

Médale F., 2009. Teneur en lipides et composition en acides gras de la chair de poissons issus de la pêche et de l'élevage. Cahiers de nutrition et de diététique (2009). 44, 173-181.

Médale F., Guillaume J C., 1999. Nutrition énergétique. In : Guillaume J, Kaushik S, Bergot P, Métailler R, Eds. Nutrition des poissons et des crustacés. Paris (France): INRA, pp. 87–111.

Médale F., Kaushik S., 2008. Evolution des recherches en nutrition piscicole à l'INRA : substitution des produits d'origine marine dans l'alimentation des poissons d'élevage. INRA Prod . Anim., 21 (1), 87-94.

Médale F., Kaushik S.,2009. Les sources protéiques dans les aliments pour les poissons d'élevage. Synthèse Nutrition et alimentation des poissons . Cah Agric, vol. 18, n° 2-3 .

Médale F., LE Boucher R., dupont-nivet M., Quillet E., Aubin J., Panserat S., 2013. Des aliments à base de végétaux pour les poissons d'élevage. INRA Prod. Anim., 26, 303-316.

Médale F., Kaushik S., 2009. Protein sources in farmed fish. Cah. Agric. 18, 103

Médale F., Lefèvre F., Corraze G., 2003. Qualité nutritionnelle et diététique des poissons : constituants de la chair et facteurs de variations. Cah. Nutr. Diét. 38, 37-44.

MEMRM., 2011. Ministère de l'Environnement et du Milieu Rural et Marin.Aquaculture continentale et environnement, secrétariat générale technique Centre de publication

Mente E., Deguara S., Santos M.B., Houlihan D.,2003. White muscle free amino acid concentrations following feeding a ,maize gluten dietary protein in Atlantic salmon (Salmo salar L.). Aquaculture, 225, 133-147.

Morales A.E., Cardenete G., Delahiguera M. & Sanz, A., 1994. Effects of DietaryProtein Source on Growth, Feed Conversion and Energy-Utilization in Rainbow-Trout, Oncorhynchits-Mykiss. Aquaculture, 124, 117-126.

MorinR., 2012. Qualité de l'eau requise pour l'élevage des salmonidés. Document d'information DADD-14. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 25 p. http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Peche

Mouslih M.,1987. Introductions de poissons et d'écrevisses au Maroc. Revue d'hydrobiologie Tropicale 20(1) : 1-88.

Moyano F.J., Cardenete, G., Delahiguera M.,1992. Use of 2 Vegetable by-Products as Protein-Sources in Rainbow-Trout Feeding. Anim. Prod., 55, 277-284

Moyle, P B., Cech J. J., 1982. Fishes: An introduction to ichtyology. Prentice Hall ed. New-Jersey. 593 pp.

Nandeesha M C., De Silva S.S., Krishna M.D., 1993. Evaluation of mixed feeding schedules in two Indian major carps, catla (Catla catla) and rohu (Labeo rohita). in Kaushik S.1., Luquet P. (eds.) Fish nutrition in practice. Ed. INRA, Paris. Les Colloques No.61: 753-765.

Nanton D.A., Lall S.P., McNiven M.A., 2001. Effects of dietary lipid level on liver and muscle lipid deposition in juvenile haddock, Melanogrammus aeglefinus L. Aquacult. Res. 32, 225-234.

Nettleton J.A., 1991. Fatty acids: comparison of plant and seafood sources in human nutrition. J .Am. Diet. Assoc., 91, 331-337.

Nisbet M., 1966. L'oxygène dissous dans l'eau.Pisc.Fr.6 : 11-14.

Nisbet M.,1968. L'eau critère de qualitè pour la vie piscicole ,l'èvolution de cette qualitè .Mini.Agri.BTI.228 :231-244

Nisbet M.et Verneaux J., 1970. Composantes physico-chimiques des eaux courantes.Ann .Limomol.6 :161-190.

NRC., 1993. National Research Council**.** Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington, DC, 114 pp.

NRC., 2011. National Research Council. Nutrient requirements of fish. National Academic Press, Washington, DC, 96 pp.

OECD., 1982. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. 154 pp. Paris: Organisation for Economic Co-Operation and Development 1982.(Publié en français sous le titre «Eutrophication des Eaux. Méthodes de Surveillance, d'Evaluation et de Lutte»).

Ogunkoya A.E., Page G.I., Adewolu M.A., Bureau D.P., 2005. Dietary incorporation of soybean meal and exogenous enzyme cocktail can affect physical characteristics of faecal material egested by rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) Aquaculture, AQUA-626756. 10 p.

Olssen C., 2011. Anatomy and morphology. In: Encyclopedia of fish physiology. pp 1268– 1275.

Opstvedt J., Aksnes A., Hope B. & Pike I.H., 2003. Efficiency of feed utilization in Atlantic salmon (Salmo salar L.) fed diets with increasing substitution of fish meal with vegetable proteins. Aquaculture, 221, 365-379.

Ouaissa K., Kritihi A., Oumessoud Y., Maychal A., Hasnaoui M., 2017.Effets d'un aliment extrudé sur les performances de croissance de la truite arc-en-ciel (OncorhynchusmykissWalbaum, 1792) et sur la qualité de l'eau de l'oued Oum Er-Rbia (station Ain Aghbal, Azrou-Maroc) . J. Wat. Env. Sci, 2017, Vol. 1, 132-139.

Ouellet G.,1998. Caractérisation des eaux usées de stations piscicoles québécoises, MAPAQ, Direction de l'innovation et des technologies. 35 p.

Ouellet G., 1999. Les rejets des stations piscicoles et leurs impacts environnementaux. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, 45p.

Pagand P., 1999. Traitement des effluents piscicoles marins par lagunage à haut rendement algal. Thèse de doctorat, Université de Montpellier 1.

Persson G., 1991. Eutrophication resulting from salmonid fish culture in fresh and salt waters : Scandinavian experiences. DANS : C.B. Cowey et C.Y. Cho (eds.). Nutritional Strategies and Aquaculture Waste. Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste. University of Guelph, Guelph, Ontario, p. 163-185.

Petit J., 1989. L'approvisionnement en eau, le traitement et le recyclage en aquaculture. In : Barnabé G (éditeur). Aquaculture. Paris, Tec et Doc, 47-182

Philips V., 2006. Manual Basico Para El Cultivo De Trucha Arco Iris, Global Environmental Management. Chapingo – Chile. Pp. 6-8.

phosphorus and nitrogen loadings. ICES, Marine environmentaml quality committee, CM 1987 / F, 44, 13p.

Piper R.G., Mc Elwain I.B ., Orme L.E ., Mc Craren J.P., Fowler L.G., Leonard J.R., 1982. Fish hatchery management, U.S. Fish and Wildlife Service, Department of the Interior, p. 134.

Pitta P, Apostolaki E T., Giannoulaki M., Karakassis I., 2005. Mesoscale changes in the water column in response to fish farming zones in three coastal areas in the eastern Mediterranean Sea. Estuar Coast Shelf S 65: 501–512

Pittenger J., 2002. Gila Trout (Oncorhynchus gilae), 3e Revision, Recovery Plan. (Albuquerque : New Mexico).

Polakof S., Panserat S., Soengas J., Moon T.W., 2012. Glucose metabolism in fish: a review. J. Comp. Physiol. B, vol.182, pp.1015-1045.

Raleigh R.F., Hickman T., Solomon R.C et Nelson P C., 1984. Habitat Suitability Information: Rainbow Trout. U.S. Fish Wildlife. Servo FWS/OBS-82/10.60.

Rasmussen R.S., 2001. Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics. Aquacult. Res. 32, 767-786.

Rauwendaal C.J., 2004. Analysis and experimental evaluation of twin screw extruders. Polymer Engineering and Science 2 (16): 1092-1100.

Ravagnan G., 1978. Techniques d'elevage intensif et d'alimentation de poissons et de crustaces. la pisciculture cotiere du haut adriatique. Villanova di Motta di Livenza - ITALIE - Vol. II

Rechignat H., Arzel 1., Viau M., Gandemer G., Guillaume 1., 1995. Nature des lipides alimentaires et composition lipidique de la truite commune (Salma trutta) élevée en eau douce ou en mer. N.S.T, 13, 79-84.

Refstie S., Storebakken T., Baeverfjord G., Roem, A.J., 2001. Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon (Salmo salar) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. Aquaculture, 193,91-106.

Regost C., Arzel J., Kaushik S.J., 1999. Partial or total replacement of fish meal by corn gluten meal in diet for turbot (Psetta maxima).Aquaculture, 180, 99-117.

Regost C., Arzel L., Robin L., M Kaushik S.J., 2001. Nutrition et qualité de la chair des poissons d'élevage. Réunion annuelle SFAM, 15 fév. 2001, Montpellier, France, (présentation orale).

Regost C., Arzel J., Cardinal M., Robin J., Laroche M., Kaushik S.J., 2001. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (Psetta maxima). Aquaculture 193, 291-309.

Reinitz G.L., Yu TC., 1981. Effects of dietary lipids on growth and fatty acid composition of rainbow trout (Salma gairdneri). Aquaculture, 35, 19-27.

Riaz M. N., 2000. Extruders in Food Applications. CRC Press.

Riaz M., 2016. Aquafeed safety and extrusion processing .Food &protein , R&D Center ;Texas as A &M univesity .

Robinson E H., Lovell RT., 1986. Nutrition and feeding of channel catfish (Revised). Southern Cooperative Series Bullettin. vol. 296. Southern Cooperative, USA. 56 pp.

Rose D P., Cannolly J.M .,1999. Omega-3 fatty acids as cancer chemopreventive agents pharmacology and therapeuties _83(3) :217 -244 .

Roy P. K. & Lall S. P., 2003. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (Melanogrammus aeglefinus L.). Aquaculture 221(1-4): 451-468.

Rust M.B., 2002. Nutritional physiology. In .J.E. Halver & R.W.Hardy, eds. Fish nutrition, 3rd Edn., pp. 367–452. New York, Academic Press Inc.

Sampietro S.,1997. Densité d'elevage chez la truite arc-en-ciel (Onchorynchus mykiss.) conséquences sur la qualité de la chair et l'état apparent. Mémoire de fin d'études d'Agronomie Option Halieutique.25pp. Septembre 1997.

Santigosa E., García-Meilán I., Valentin J.M., Pérez-Sánchez J., Médale F., Kaushik S., Gallardo M.A., 2011. Modifications of intestinal nutrient absorption in response to dietary fish meal replacement by plant protein sources in sea bream (Sparus aurata) and rainbow trout (Onchorynchus mykiss). Aquaculture, 317, 146-154.

Santinha P. J M., Médale F., Corraze G., Gomes E.F.S., 1999. Effects of the dietary protein .

Sargent L., Henderson, R. J., Tocher D.R., 1989. The lipids. In : Fish Nutrition. lE. Halver (Eds), Academic Press, Inc., 153-218.

Satoh S., Takanezawa M., Akimoto A, Kiron V., Watanabe T., 2002. Changes of phosphorus absorption from several feed ingredients in rainbow trout during growlng stages and effect of extrusion of soybean meal. Fisheries Sciences 68 : 325-331

Satoh S., Hernandez A., Tokoro T., Morishita Y., Kiron V., Watanabe T., 2003. Comparison of phosphorus retention efficiency between rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fed a commercial diet and a low fish meal based diet. Aquaculture, 224, 271-282.

Schlumberger O., 1993. Mémento de pisciculture d'étang, Cemagref, Série « Études » Ressources en eau n° 7, (3e édition), Cemagref-Dicova, Antony. 166 p.

Scott W.B et Crossman E.J., 1974. Poisson d'eau douce du Canada, bulletin 184. (Ottawa : Office des recherches sur les pêcheries du Canada).

Shearer K. D., Silverstein J., Dickhoff W.W., 1997. Control of growth and adiposity of juvenile Chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha). Aquaculture 157, 311-323.

Sheehan, E.M., O'Connor, T.P., Sheehy, PJ.A., Buckley, DJ., Fitz Gerald R., 1996. Effect of dietary fat intake on the quality of raw and smoked salmon. Irish J. Agri. Food Res., 35, 37-42.

Sheridan M A., 1988. Lipid dynamita in fish : aspects of absorption, deposition and mobilization. Comp. Biochem. Physiol., 90B, 679-690.

Shi Z.H. and L.A. Utracki.,1992. Development of polymer blend morphology during compounding in a twin-screw extruder. Part II: Theoretical derivations. Polymer Engineering and Science. 32 (24): 1834- 1845.

Shimeno S., Hosokawa H., Takeda M., Kajiyama H., 1980. Effects of calorie to protein ratios in formulated diet on the growth, feed conversion and body composition of young yellowtail. Bull. Japan. Soc. Sci . Fish., 46, 1083-1087.

Sigma Environmental Consultants Ltd., 1983. Summary of water quality criteria for salmonids fishes, Department of Fisheries and Oceans, SECL 8067, p. 36-48.

Sikorski Z E., Lolakowska A., Pan B.S., 1990. The Nutritive Composition of the Major Groups of Marine Food Organisms. In: Resources Nutritional Composition and Preservation, Sikorski, Z.E. (Ed.). CRC Press-Inc., Boca Raton, Florida, pp: 30-52.

Skonberg D.I., Hardy R.W., Barrows F.T., Dong, F.M.,1998. Color and flavor analyses of fillets from farm-raised rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fed lowphosphorus feeds containing corn or wheat gluten. Aquaculture, 166,269-277.

Speece R.E., 1973. Trout metabolism characteristics and the rational design of nitrification facilities for water reuse in hatcheries, Trans. Amer. Fisher. Soc. (2) : 323-334.

Stechey D. et Y. Trudell., 1990. Aquaculture wastewater treatment : wastewater characterization and development of appropriate treatment technologies for the Ontario trout production industry. Rapport préparé par Canadian Aquaculture Systems pour Ministry of Environment, Environmental Services, Water Ressources Branch, Toronto, Ontario. 88 p. + 5 annexes.

Stone D.A.J., 2003. Dietary carbohydrate utilization by fish. Reviews in Fisheries Science,11(4): 337–369.

Storebakken T., Kvien I.S., Shearer K.D., Grisdale-Helland B., Helland S.J., Berge G.M., 1998. The apparent digestibility of diets containing fish meal, soybean meal or bacterial meal fed to Atlantic salmon (Salmo salar): evaluation of different faecal collection methods. Aquaculture, 169, 195-210.

Strahm B. S., 2000. Preconditiong. In: Extruders in food applications, M. N. Riaz, (Ed.), pp.115-126, CRC Press, ISBN 978-156-6767-79-2, Boca Raton, United States of America.

Sugiura S. H., Hardy R.W., 2000. Environmental friendly feeds. In: Stickney R. R. (Eds.), Encyclopedia of aquaculture, Wiley, New York, pp. 299.

Sugiura S.H., Raboy V., Young K.A., Dong F.M., Hardy R.W., 2000. Availability of phosphorus and trace elements in low-phytate varieties of barley and corn for rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Aquaculture, 170,285-296.

Tacon, A.G.J. et Forster, I.N., 2000. Global trends and challenges to aquaculture and

Takeuchi T, Watanabe T, Ogino C., 1978. Supplementary effect of lipids in a high protein diet of rainbow trout. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 44, 677-681.

Takeuchi T.,Watanabe T., 1982. The effects of starvation and environmental temperature on proximate and fatty acid composition of carp and rainbow trout. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 48, 1307-1.

Tesch W., 1971. Age of growth. In: Richer W.E. (ed.). Methods foe assessment of fish production in fresh waters.2nd International biological programme oxford and Edinbourgh.97-130.

Tatrai 1., 1981. Diurnal pattern of the ammonia and urea excretion offeeding and starved bream, Abramis brama L. Comp. Biochem. Physiol., 70A : 211-215.

Torrissen, O.I., 1986. Pigmentation of salmonids : A comparison of astaxanthin and canthaxantin as pigment sources for rainbow trout. Aquaculture, 53, 271-278.

TTOBA (Société d'Étude Techniques et d'Ingénierie)., 2006. Étude pour la reconstitution de l'écosystème naturel de la zone humide de Dayet Aoua, C.R de Dayet Aoua-Province d'Ifrane. Plan de développement de la zone humide de Dayet Aoua (Royaume du Maroc, Haut commissariat aux Eaux et Forêts et à la lutte contre la désertification, Direction Régionale des Eaux et Forêts de Meknès, Service Provincial des Eaux et Forêts d'Ifrane).

UMA Engineering Ltd., 1988. Waste water treatment in aquaculture facilities. Rapport déposé à Ministry of Environment, Water Reasources Branch, Toronto, Ontario. 61 p.

Usui A.,1979. Eel culture. Fishing News, London. 1286p

Ackefors Verdegem M.C.J, Eding E.H., Rooy van J.M., Verreth, J.A.A.,1999. Comparison of effluents from pond and recirculating production systems receiving formulated diets. W orld Aquaculture: 28-32.

Vergara lM., Robaina L., Izquierdo M., De La Higuera M., 1996. Protein sparing effect of lipids in diets for fingerlings of gilthead sea bream. Fisheries Science, 62, 624-628.

Vilarino M., Métayer J P., Mahaut B., Bouvarel I., Lescoat P., Chartrin P., Fournis Y., Hogrel P., Bonnal L., Bastianelli D., 2016. Caractériser la valeur nutritionnelle des aliments par des méthodes innovantes de mesure de la digestibilité pour une aviculture durable. Innovations Agronomiques 49 (2016), 163-177.

Vivier P., 1956. Conservateur des eaux et forêts chef du service des recherches piscicoles. Bulletin! Français de pisciculture. N °181. 30 juin 1956.

Watanabe T., 1982. Lipid nutrition in fish. Comp. Biochem. Physiol., 73B, 3-15.

Watanabe T., 2002. Strategies for further development of aquatique feeds Fish, " Sci., 68:242-52p.2002.

Wedemeyer G.A., 1996. Physiology of fish in intensive culture systems, " chapmanhall,london. UK

Weede N.,1997. Low phosphorus plant protein ingredients in finishing diets for rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). MS Thesis. University of Washington, DC.

Westers H., 1991. Operational waste management in aquaculture effluents. DANS : C.B. Cowey et C.Y. Cho (eds.). Nutritional Strategies and Aquaculture Waste. Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste. University of Guelph, Guelph, Ontario, p. 231- 238.

Wetzel R.G.,1983. Limnology, 2nd edition. CBS College Publishing, New York, 860 p.

Wilson R.P., 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. Aquaculture, 124,67-80.

Xie S. Q., Cui Y. B., Yang Y. X., Liu J. K., 1997. Effect of body size on growth and energy budget of Nile tilapia, Oreochromis niloticus. Aquaculture 157: 25-34.

Young C. C., Bureau D .P .,1998. Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture, Aquatic Living Resources. 11(4):199-210. https://doi.org/10.1016/S0990-7440(98)89002-5.

Zuilichem D. J. V., Stolp W., 1984. Engineering aspects of single and twin screw extrusion cooking of biopolymers. In: Extrusion Cooking Technology. R. Jowitt (Ed.). Elsevier Applied Sciences: London.

ANNEXES

Annexe 1.

Taux de rationnement relatifs à la température du site qui est d'environ 14°C selon la fiche technique de fournisseur de l'aliment A .

Table de nourrissage indicative (kg d'aliment / 100 kg de biomasse / jour)

	PROT.	LIP.	ED	PD/ED	Diamètre		Poids vifs (g)		Température de l'eau													
	(%)	(%)	(MJ/kg)	(g/MJ)	n°	(mm)	de	à	5°C	6°C	7°C	8°C	9°C	10°C	11°C	12°C	13°C	14°C	15°C	16°C	17°C
NEO 19	40	23	19.2	19	4	4	40	100	0.6	0.71	0.83	1	1	1.18	1.30	1.42	1.5	1.65	1.77	1.50	1.33
					5	5.5	100	150	0.53	0.6	0.7	0.85	0.96	1.06	1.17	1.28	1.4	1.5	1.60	1.36	1.2
					5	5.5	150	250	0.52	0.63	0.73	0.84	0.94	1.0	1.2	1.3	1.4	1.47	1.57	1.34	1.18
					5	5.5	250	400	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.27	1.12
NEO 20	39	27	20.2	17.5	5	5.5	100	150	0.51	0.61	0.71	0.81	0.91	1.0	1.1	1.2	1.31	1.42	1.52	1.3	1.14
					5	5.5	150	250	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.99	1.09	1.19	1.29	1.39	1.49	1.3	1.12
					5	5.5	250	400	0.47	0.57	0.66	0.75	0.85	0.94	1.04	1.13	1.23	1.32	1.42	1.2	1.06
					7	7.5	400	500	0.46	0.55	0.64	0.74	0.83	0.92	1	1.1	1.2	1.3	1.38	1.17	1.04
					7	7.5	500	1000	0.45	0.54	0.63	0.72	0.8	0.9	1	1.08	1.16	1.25	1.34	1.14	1
					7	7.5	1000	1500	0.44	0.53	0.62	0.7	0.8	0.9	0.98	1.07	1.15	1.24	1.33	1.13	1
					7	7.5	1500	1800	0.4	0.5	0.57	0.66	0.74	0.82	0.9	0.98	1.07	1.15	1.23	1.05	0.92
					9	9.5	1800	2200	0.38	0.46	0.53	0.6	0.7	0.76	0.84	0.92	1	1.07	1.15	0.97	0.86
					9	9.5	2200	2500	0.33	0.4	0.46	0.53	0.6	0.66	0.73	0.8	0.86	0.93	1	0.85	0.75
					9	9.5	2500	3000	0.3	0.38	0.44	0.5	0.56	0.63	0.7	0.75	0.8	0.88	0.94	0.8	0.7
NEO 21	39	30	21.2	17	7	7.5	400	500	0.44	0.53	0.62	0.7	0.8	0.88	0.97	1.06	1.14	1.23	1.32	1.12	1
					7	7.5	500	1000	0.43	0.5	0.6	0.68	0.77	0.86	0.94	1.03	1.1	1.2	1.28	1.1	0.96
					7	7.5	1000	1500	0.42	0.5	0.6	0.68	0.76	0.85	0.93	1.02	1.1	1.2	1.27	1.08	0.95
					7	7.5	1500	1800	0.4	0.47	0.55	0.63	0.7	0.78	0.86	0.94	1.02	1.1	1.18	1	0.88
					9	9.5	1800	2200	0.36	0.44	0.5	0.58	0.66	0.73	0.8	0.87	0.95	1.02	1.1	0.93	0.82
					9	9.5	2200	2500	0.32	0.38	0.44	0.5	0.57	0.63	0.7	0.76	0.82	0.9	0.95	0.8	0.7
					9	9.5	2500	3000	0.3	0.36	0.42	0.48	0.54	0.6	0.66	0.72	0.78	0.84	0.9	0.76	0.67
					11	11	3000	3500	0.27	0.32	0.37	0.42	0.48	0.53	0.58	0.64	0.7	0.74	0.8	0.68	0.6
					11	11	3500	4000	0.22	0.27	0.3	0.36	0.4	0.45	0.5	0.54	0.58	0.63	0.67	0.57	0.5

Les taux de nourrissage sont basés sur la valeur nutritionnelle de l'aliment et doivent être adaptés aux conditions locales des élevages.

Annexe 2

Fiche de suivi des performances zootrchniques de la truite arc en ciel

BU AROMES ET SPECIALITES

DOMAINE AIN AGHBAL

SITE Oum erbia

N° LOT 06.15.T

UNITE ELEVAGE

BASSIN BCA

MOIS: Septembre 2016

Bassins d'essai

Pm 269

DATE	MORTALITES EN NOMBRE	SORTIES EN NOMBRE	MOUVEMENTS		BIOMASSE			ALIMENTATION		OBSERVATIONS
			NOMBRE	DESTINATIONS	NOMBRE	PM en Gr	BIOMASSE EN Kg	QUANTITE EN Kg	type aliment	
1	1							ration		
2	0							ration		
3	0							ration		
4	0						866,11	ration		Echantillonnage
5	0							866,11		
6	0							866,11		
7	0							866,11		
8	0							866,11		
9	0							866,11		
10	0							866,11		
11	0							866,11		
12	0							866,11		
13	0							866,11		
14	0							866,11		
15	0							866,11		
16	0							866,11		
17	0							866,11		
18	0							866,11		
19	0		14jrs		(Ali 4/55gr)			12,12 kg		Echantillonnage
20	0							909,05		
21	0							909,05		
22	0							909,05		
23	0							909,05		
24	0							909,05		
25	0							905,05		
26	0							905,05		
27	0							905,05		
28	0							905,05		
29	1							905,05		
30	0							905,05		
31										
TAT FIN MOIS										

Annexe 3.

Analyses biochimiques des trois aliments (A, B et C)

1. Aliment A:

labomag

RAPPORT D'ANALYSES N° C007669

Client	: DOMAINE AIN AGHBAL	Date de prélèvement	: 29/12/2015
Région	: AZROU	Date de réception	: 30/12/2015
Nature de l'échantillon	: ALIMENT DE POISSON	Date de fin d'analyse	: 14/01/2016
Référence de l'échantillon	: C	Date d'édition	: 14/01/2016
Site de prélèvement	: PISCICULTURE		

Paramètre	Résultat	Unité	Méthode
Humidité	5.55	g/100 g brut	Dessiccation à 105 °C
Cendres	8.67	g/100 g brut	Dessiccation à 500 °C
Protéines Nx6.25	37.88	g/100 g brut	Kjeldahl
Lipides	23.55	g/100 g brut	Interne
Glucides	24.35	g/100 g brut	Calcul
Phosphore total P	1.42	g/100 g brut	Flux continu
Fibres totales	4.5	g/100 g brut	Interne
Valeur énergétique	461	Kcal/100 g brut	Calcul
	1929	Kj/100 g brut	

Responsable de département — LABOMAG Rachida MOUHTADI Responsable du Département

Directeur du laboratoire — LABOMAG

Les résultats ne se rapportent qu'à l'échantillon soumis à l'essai.
La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale

Page 1 / 1

1, boulevard Bangkok – Route de Zenata km 10,5 – Sidi Bernoussi – 20 000 Casablanca –
Tél. : + 212 522 346 890/95 – Fax : + 212 522 358 394 – contact@labomag.ma – www.labomag.ma
S.A.R.L. au capital de 1 000 000 DH – R.C. : 103629 – I.F. : 01501033 – C.N.S.S. : 0284183 – Patente : 30655862

2. Aliment B:

labomag

RAPPORT D'ANALYSES N° C007668

Client	: DOMAINE AIN ADHEM	Date de prélèvement	: 29/12/2015
Région	: AZROU	Date de réception	: 30/12/2015
Nature de l'échantillon	: ALIMENT DE POISSON	Date de fin d'analyse	: 14/01/2016
Référence de l'échantillon	: B	Date d'édition	: 14/01/2016
Site de prélèvement	: PISCICULTURE		

Paramètre	Résultat	Unité	Méthode
Humidité	8.03	g/100 g brut	Dessiccation à 105 °C
Cendres	8.09	g/100 g brut	Dessiccation à 550 °C
Protéines brutes	38.31	g/100 g brut	Kjeldahl
Lipides	21.19	g/100 g brut	Intérieur
Glucides	25.07	g/100 g brut	Calcul
Phosphore total P	1.11	g/100 g brut	Plus sensible
Chlorure totaux	1.1	g/100 g brut	Intérieur
Valeur énergétique	469	Kcal/100 g brut	Calcul
	1884	KJ/100 g brut	

Responsable de département

LABOMAG

Directeur du laboratoire

LABOMAG

Les résultats ne se rapportent qu'à l'échantillon soumis à l'essai.
La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous forme intégrale.

Page 1/1

3. Aliment C:

labomag

RAPPORT D'ANALYSES N° C007669

Client	: DOMAINE AIN AGHBAL	Date de prélèvement	: 29/12/2015
Région	: AZROU	Date de réception	: 30/12/2015
Nature de l'échantillon	: ALIMENT DE POISSON	Date de fin d'analyse	: 14/01/2016
Référence de l'échantillon	: C	Date d'édition	: 14/01/2016
Site de prélèvement	: PISCICULTURE		

Paramètre	Résultat	Unité	Méthode
Humidité	5.55	g/100 g brut	Dessiccation à 105 °C
Cendres	8.87	g/100 g brut	Dessiccation à 500 °C
Protéines N x6.25	37.88	g/100 g brut	Kjeldahl
Lipides	23.55	g/100 g brut	Interne
Glucides	24.35	g/100 g brut	Calcul
Phosphore total P	1.42	g/100 g brut	Flux continu
Fibres totales	4.5	g/100 g brut	Interne
Valeur énergétique	461	Kcal/100 g brut	Calcul
	1929	Kj/100 g brut	

Responsable de département — LABOMAG Fatima MOUNTAIN Responsable du Département

Directeur du laboratoire — LABOMAG

Les résultats ne se rapportent qu'à l'échantillon soumis à l'essai.
La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale

Page 1 / 1

1, boulevard Bourgogne – Route de Zenata km 15,5 – Sidi Bernoussi – 20 000 Casablanca –
Tél. : + 212 522 349 890/95 – Fax : + 212 522 348 364 – contact@labomag.ma – www.labomag.ma
S.A.R.L. au capital de 1 600 000 DH – R.C. : 100829 – I.F. : 01501653 – C.N.S.S. : 8884153 – Patente : 30005852

Annexe 4

1. Aliment A

Analyse biochimiques des filets des poissons alimentés par aliments A

labomag

RAPPORT D'ANALYSES N° C013828

Client	: DOMAINE AIN AGHBAL	Date de prélèvement	: 17/03/2016
Région	: AZROU	Date de réception	: 17/03/2016
Nature de l'échantillon	: TRUITE	Date de fin d'analyse	: 15/04/2016
Référence de l'échantillon	: A	Date d'édition	: 15/04/2016
Site de prélèvement	: -		

Paramètre	Résultat	Unité	Méthode
Humidité	73.19	g/100 g brut	Dessiccation à 105 °C
Cendres	1.37	g/100 g brut	Dessiccation à 500 °C
Protéines Nxft 5N	19.25	g/100 g brut	Kjeldahl
Lipides	6.06	g/100 g brut	Interne
Glucides	0.13	g/100 g brut	Calcul
Valeur énergétique	132	Kcal/100 g brut	Calcul
	554	Kj/100 g brut	
Acides gras			LAB.CH.119 MI adaptée NF EN ISO 12966
Acides gras saturés	20.3	% AG	
Acides gras mono-insaturés	47.6	% AG	
Acides gras poly-insaturés	28.7	% AG	
Oméga 3	12.5	% AG	
Oméga 6	16.0	% AG	
Acides gras Cis	75.9	% AG	
Acides gras Trans	0.6	% AG	
Rapport Oméga6/oméga6	0.8	% AG	
Rapport oméga6/oméga3	1.3	% AG	

Responsable de département — LABOMAG Rachida MOUNTADI

Directeur du laboratoire — LABOMAG

Les résultats ne se rapportent qu'à l'échantillon soumis à l'essai
La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale
Page 1 / 1

1, boulevard Bangkok – Route de Zenata km 10.5 – Sidi Bernoussi – 20 000 Casablanca –
Tél. : +212 522 348 080/85 – Fax : +212 522 358 384 – contact@labomag.ma – www.labomag.ma
S.A.R.L. au capital de 1 000 000 Dh – R.C. : 103825 – I.F. : 01001650 – C.N.S.S. : 6284153 – Patente : 30600662

2. Aliment B

Analyse biochimiques des filets des poissons alimentés paraliments B

labomag

RAPPORT D'ANALYSES N° C013829

Client	DOMAINE AIN AGHROU	Date de prélèvement	17/09/2018
Préleur	AZIROU	Date de réception	17/09/2018
Matrice de l'échantillon	TRUITE	Date de fin d'analyse	19/04/2018
Référence de l'échantillon	0	Date d'édition	15/04/2018
Site de prélèvement			

Paramètres	Résultats	Unité	Méthode
Humidité	73.11	g/100 g brut	Dessiccation à 105 °C
Cendres	1.02	g/100 g brut	Dessiccation à 550 °C
Protéines Mult 5.5	19.31	g/100 g brut	Kjeldahl
Lipides	6.07	g/100 g brut	Interne
Glucides	0.08	g/100 g brut	Calcul
Valeur énergétique	133	Kcal/100 g brut	Calcul
	554	Kj/100 g brut	
Acides gras			LAB CH 119 M adapté NF EN ISO 12966
Acides gras saturés	18.7	% AG	
Acides gras mono-insaturés	51.6	% AG	
Acides gras poly-insaturés	26.6	% AG	
Oméga 3	13.3	% AG	
Oméga 6	13.3	% AG	
Acides gras Cis	77.6	% AG	
Acides gras Trans	0.6	% AG	
Rapport Oméga3/omega6	0.6	% AG	
Rapport omega6/omega3	1.6	% AG	

Responsable de département — LABOMAG

Directeur du laboratoire — LABOMAG

Les résultats ne se rapportent qu'à l'échantillon soumis à l'essai.
La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale
Page 1 / 1

1, boulevard Bangkok - Route de Zenata km 10,5 - Ain Sebaâ - 20 600 Casablanca -
Tél : +212 522 342 696/98 - Fax : +212 522 356 394 - contact@labomag.ma - www.labomag.ma
S.A.R.L. au capital de 1.000.000,00 DH - R.C. : 109625 - I.F. : 15201251 - Patente : 35300179 - Identifiant : 3000000

3. Aliment C

Analyse biochimiques des filets des poissons alimentés par aliments C

labomag

RAPPORT D'ANALYSES N° C013830

Client	: DOMAINE AIN AGHBAL	Date de prélèvement	: 17/03/2016
Région	: AZROU	Date de réception	: 17/03/2016
Nature de l'échantillon	: TRUITE	Date de fin d'analyse	: 08/04/2016
Référence de l'échantillon	: C	Date d'édition	: 08/04/2016
Site de prélèvement	: -		

Paramètre	Résultat	Unité	Méthode
Humidité	72.82	g/100 g brut	Dessiccation à 105 °C
Cendres	1.31	g/100 g brut	Dessiccation à 600 °C
Protéines Nsat 25	17.12	g/100 g brut	Kjeldahl
Lipides	8.32	g/100 g brut	Interne
Glucides	0.43	g/100 g brut	Calcul
Valeur énergétique	146	Kcal/100 g brut	Calcul
	606	Kj/100 g brut	
Acides gras			LAB.CH.119 MI adaptée NF EN ISO 12966
Acides gras saturés	30.2	% AG	
Acides gras mono-insaturés	29.6	% AG	
Acides gras poly-insaturés	33.6	% AG	
Oméga 3	22.6	% AG	
Oméga 6	11.0	% AG	
Acides gras Cis	82.2	% AG	
Acides gras Trans	1	% AG	
Rapport Omega3/omega6 :	2.1	% AG	
Rapport omega6/omega3 :	0.6	% AG	

Responsable de département — LABOMAG

Directeur du laboratoire — LABOMAG

Les résultats ne se rapportent qu'à l'échantillon soumis à l'essai.
La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale
Page 1 / 1

Annexe 5

Questionnaire des paramètres sensoriels

DATE : 21/03/2016 NOM : Chaychal Nabilazizz

Notation / Code	Caractéristiques sensoriels	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Moyenne
155	Visuel	X									
	Odeur	X									
	Gout	X									
	Texture	X									
551	Visuel		X								
	Odeur		X								
	Gout		X								
	Texture		X								
515	Visuel									X	
	Odeur			X							
	Gout			X							
	Texture			X							

Signature

DATE : 21/03/2016 NOM : SAIDA ATBIR

Notation / Code	Caractéristiques sensoriels	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Moyenne
155	Visuel	✓									
	Odeur		✓								
	Gout		✓								
	Texture		✓								
551	Visuel	✓									
	Odeur		✓								
	Gout		✓								
	Texture		✓								
515	Visuel								✓	✓	
	Odeur				✓						
	Gout		✓								
	Texture				✓						

Signature

Annexe 6:

Analyse biochimique de la farine de poisson 65%

FEED FOOD
Laboratoire d'analyses

BULLETIN D'ANALYSES N° : 0824/17.0

Nom client :		**Adresse :**	
Interlocuteur :		**Date de réception :**	11-Juil.-2017
Nature produit :	farine de poisson	**Date d'émission :**	14-Juil.-2017
Réf client :		**Echantillon n°**	090617
Prélevé par :	DOMAINE AIN AGHBAL	**Origine :**	

RESULTATS ANALYTIQUES SUR PRODUIT BRUT
Calibration Near Infra-Rouge Evonik

Analyse	Unité	Résultat
Methionine	%	1.947
Histidine	%	1.655
Phenylalanine	%	2.750
Protéine brute	%	65.24
Matière grasse	%	9.3
Matière minérale	%	16.9
Cystine	%	0.610
Phosphore total	%	2.54
Energie totale	Kcal/Kg	4549
Energie métabolisable apparente	Kcal/Kg	3098
Methionine +Cystine **	%	2.579
Humidité	%	8.51
Leucine	%	5.017
Lysine	%	5.137
Threonine	%	2.842
Tryptophan	%	0.779
Arginine	%	3.935
Isoleucine	%	2.951
Valine	%	3.403

SA au Capital de 17.000.000 DH, Lot ERAC, N°139 - Zone Industrielle Mohammedia, Code importateur : 10011 32 8977 - CNSS 6090043 - RC : 3016 - Patente N° : 39406080 - IF:016122 Tél: 023.38.17.12/023.31.11.38 Fax: 023.32.28.36 Email: fe@fe.co.ma - Site web : www.feedandfood.com

Page 1 of 2

Analyse biochimique de gluten de Mais

FEED & FOOD
Laboratoire d'analyses

BULLETIN D'ANALYSES N° : 0338/17.0

Nom client :		**Adresse :**	
Interlocuteur :		**Date de réception :**	11-Juil.-2017
Nature produit :	gluten de maïs	**Date d'émission :**	14-Juil.-2017
Réf client :		**Echantillon n°**	035417
Prélevé par :	DOMAINE AGHBAL	**Origine :**	

RESULTATS ANALYTIQUES SUR PRODUIT BRUT

Tryptophan	%	0.362	NIR
Arginine	%	2.083	NIR
Isoleucine	%	2.473	NIR
Valine	%	2.821	NIR
Protéine brute	%	60.17	NIR
Matière grasse	%	10.0	NIR
Cellulose brute	%	1.2	NIR
ADF	%	8.8	NIR
NDF	%	7.5	NIR
Matière minérale	%	2.1	NIR
Amidon	%	12.2	NIR
Sucre totaux	%	0.9	NIR
Phosphore total	%	0.48	NIR
Phosphore Phytique	%	0.38	NIR
Energie totale	Kcal/Kg	5132	NIR
Humidité	%	9.19	NIR
Energie métabolisable apparente	Kcal/Kg	2943	NIR

Observations :

Mohammédia le : 14/07/2017

Le Responsable Laboratoire: S. DOUBLALI

- Le résultat communiqué ne concerne que l'objet soumis à l'essai.
- Le rapport d'essai ne doit pas être reproduit sans autorisation écrite du laboratoire.

- Source : AMINONIR® Services Evonik

SA au Capital de 17.000.000 DH, Lot ERAC, N°129 - Zone Industrielle Mohammedia. Code importateur : 10011 30 8977 - CNSS 6896063 - RC : 3015 - Patente N°: 39406080 - IF 3016222 Tél: 023.31.17.17/ 023.31.11.38 Fax: 023.31.28.36 E-mail: ffa@ffa.co.ma - Site web : www.feedandfood.com

Page 2 of 2

FEED & FOOD
Laboratoire d'analyses

BULLETIN D'ANALYSES N° : 0338/17.0

Nom client :		**Adresse :**	
Interlocuteur :		**Date de réception :**	11-Juil.-2017
Nature produit :	gluten de maïs	**Date d'émission :**	14-Juil.-2017
Réf client :		**Echantillon n°**	035417
Prélevé par :	DOMAINE AGHBAL	**Origine :**	

RESULTATS ANALYTIQUES SUR PRODUIT BRUT

Analyse : Chimique

Analyse	Unité	Résultat	Méthode
Aw à 25°C		0.791	Méthode interne

Analyse : NIR (Calibration Near Infra-RougeEvonik)

Analyse	Unité	Résultat	Méthode
Methionine	%	1.593	NIR
Histidine	%	1.250	NIR
Phenylalanine	%	3.739	NIR
Cystine	%	1.025	NIR
Methionine +Cystine **	%	2.623	NIR
Leucine	%	9.808	NIR
Lysine	%	1.076	NIR
Threonine	%	2.045	NIR

Observations :

Mohammédia le : 28/02/2017

Le Responsable Laboratoire: S. DOUBLALI

- Le résultat communiqué ne concerne que l'objet soumis à l'essai .
- Le rapport d'essai ne doit pas être reproduit sans autorisation écrite du laboratoire .

- Source : AMINONIR® Services Evonik

SA au Capital de 17.000.000 DH, Lot ERAC, N°:129 - Zone Industrielle Mohammedia. Code importateur : 10011 30 8977 - CNSS 6090003 - RC : 3015 - Patente N°: 39400080 - IF:2116222 Tél: 023.36.17.12/ 023.31.11.38 Fax: 023.32.28.36 E-mail: ffa@ffa.co.ma - Site web : www.feedandfood.com

Page 1 of 2

Analyse biochimique de Blé tendre

BULLETIN D'ANALYSES N° : 0340/17.0

Nom client :		Adresse :	
Interlocuteur :		Date de réception :	11-Juil.-2017
Nature produit :	Blé	Date d'émission :	14-Juil.-2017
Réf client :		Echantillon n°	035617
Prélevé par :	DOMAINE AGHBAL	Origine :	

RESULTATS ANALYTIQUES SUR PRODUIT BRUT

Analyse	Unité	Résultat	Méthode
Matières minérales	%	0.6	Dir CEE 152/2009
Protéines brutes	%	10.6	ISO 5983 -2
Humidité	%	14.3	Dir CEE 152/2009
Phosphore total	%	0.03	NF V18-106
Matières grasses extraction directe	%	0.3	Dir CEE 152/2009

Observations :

Mohammédia le : 14/07/2017

Le Responsable Laboratoire: S. DOUBLALI

- Le résultat communiqué ne concerne que l'objet soumis à l'essai .
- Le rapport d'essai ne doit pas être reproduit sans autorisation écrite du laboratoire.

Page 1 of 1

Annexe 7

1. Aliment F1

Analyses biochimiques de l'aliment F1

Laboratoire d'analyses

BULLETIN D'ANALYSES N° : 1030/17.0

Nom client :		Adresse :	
Interlocuteur :		Date de réception :	03-Août.-2017
Nature produit :	aliment poisson	Date d'émission :	07-Août.-2017
Réf client :	F1	Echantillon n°	121317
Prélevé par :	DOMAINE AGHBAL	Origine :	

RESULTATS ANALYTIQUES SUR PRODUIT BRUT
Calibration Near Infra-Rouge Evonik

Analyse	Unité	Résultat
Protéine brute	%	39.9
Matière grasse	%	21.40
Cellulose brute	%	3.2
Matière minérale	%	6.8
Humidité	%	3.5

Observations :

Mohammédia le : 07/08/2017

Le Responsable Laboratoire: S. DOUBLALI

- Le résultat communiqué ne concerne que l'objet soumis à l'essai .
- La rapport d'essai ne doit pas être reproduit sans autorisation écrite du laboratoire .

- Source : AMINONIR® Services Evonik

2. Aliment F2

Analyses biochimiques de l'aliment F2

FEED & FOOD
Laboratoire d'analyses

BULLETIN D'ANALYSES N° : 1030/17.0

Nom client :		Adresse :	
Interlocuteur :		Date de réception :	03-Août.-2017
Nature produit :	aliment poisson	Date d'émission :	07-Août.-2017
Réf client :	F2	Echantillon n°	121317
Prélevé par :	DOMAINE AGHBAL	Origine :	

RESULTATS ANALYTIQUES SUR PRODUIT BRUT
Calibration Near Infra-Rouge Evonik

Analyse	Unité	Résultat
Protéine brute	%	39.9
Matière grasse	%	21.10
Cellulose brute	%	2.20
Matière minérale	%	7.2
Humidité	%	4.2

Observations :

Mohammédia le : 07/08/2017

Le Responsable Laboratoire: S. DOUBLALI

- Le résultat communiqué ne concerne que l'objet soumis à l'essai .
- La rapport d'essai ne doit pas être reproduit sans autorisation écrite du laboratoire .

- Source : AMINONIR® Services Evonik