

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة سعد دحلب البليدة

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA



كلية التكنولوجيا دائرة هندسة الطرائق

FACULTE DE TECHNOLOGIE. DEPARTEMENT DU GENIE DES PROCEDES

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTERE EN CHIMIE INDUSTRIELLE

OPTION : PROCEDES DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS ET PROTECTION DE
L'ENVIRONNEMENT

THEME

**Caractérisation et quantification des rejets aquacoles d'une ferme
d'élevage de loup et daurade, Impacts sur l'environnement et
mesures d'atténuation. Etude de cas : Ferme ONDPA de Cap
Djinet - à Boumerdes**

Réalisé par :

ANNANE RACHID

Année 2014

Devant le Jury :

Président de Jury : **Pr A. Khelifa**
Examineur : **Pr W. Naceur**
Examineur : **Pr A. Aouabed**
Promoteur : **Pr B. Bouzid**

Université SAAD DAHLEB Blida
Université SAAD DAHLEB Blida
Université SAAD DAHLEB Blida
Université SAAD DAHLEB Blida

تشكرات

انقدم بجزيل الشكر و العرفان الى السيد البروفيسور بشير بوزيد على قبوله تأطير هذا العمل و متابعة مختلف مراحل إنجازها و الى كل من السادة : البروفيسور خليفة ، البروفيسور عوابد و البروفيسور ناصر على التكفل بمناقشة المذكرة،

انقدم بالشكر ايضا الى جميع من ساعدني على اتمام هذا العمل من اطارات و ادارة المركز الوطني للبحث و تطوير الصيد و تربية المائيات ، و الى ادارة و اطارات مجمع المحافظة الوطنية لتطوير تربية المائيات بمزرعة كاب جنات ولاية بومرداس.

اهداء

الى روح والدي ، الى والدتي ،

الى زوجتي و ابنائي و كل عائلتي ،

الى كل زملائي في العمل ،

الى كل من ساعدني من قريب او من بعيد لإتمام هذه الدراسة ،

اهدي هذا العمل المتواضع.

المخلص

تعتبر مخلفات مياه الصرف الجزء الاهم في دراسة الآثار البيئية لتربية المائيات، و عليه، فإن تقييم و دراسة خصائص هذه المخلفات، و خاصة على المدى الطويل، تعطي صورة للتغير المحتمل في الوسط الطبيعي. في هذا العمل، تمت دراسة حالة مزرعة تربية اسماك الدنيس و القاروص بكاب جنات ولاية بومرداس و التي تنتج حوالي 150 طن/سنويا باستعمال نظام مفتوح بقوة ضخ من 3800 الى 11760 م³/سا، القيم القصوى المسجلة للامنيوم، النتريت، النترات، الفسفور و الشوائب العالقة هي على التوالي : 0.1047، 0.002، 0.5، 0.1105 و 1.8005 مغ/ل.

هذه المكونات قد تكون المصدر الرئيسي للتلوث رغم قيمها الضعيفة المخففة بفعل الضخ الكبير للنظام المفتوح. ان ربط المزرعة بقناة المياه الساخنة من محطة توليد الكهرباء يؤدي الى مضاعفة الانتاج و بالتالي مضاعفة مياه الصرف و المخلفات، و لهذا فان تثبيت نظام للمعالجة ضروري لتقليل المواد الازوتية و الفوسفورية المتدفقة في عرض البحر و كذلك من اجل تقليل الغازات السامة الكربونية و الازوتية. في هذا الإطار، تم اقتراح مخطط متابعة من اجل مراقبة تطور نسب الملوثات في مياه الصرف و على مستوى الوسط الطبيعي البحري.

كلمات مفتاح : بيئة، تربية المائيات، تلوث، معالجة، آثار

Résumé

Les rejets sont considérés comme la partie la plus importante dans les études d'impact de l'aquaculture sur l'environnement. La caractérisation et la quantification des rejets piscicoles, permettront notamment à long terme, une évaluation d'un éventuel impact sur le milieu naturel. Ce travail a été entrepris dans une ferme d'élevage de loup de mer et de daurade à Cap Djinet, Wilaya de Boumerdes qui produit environ 150 tonnes/an de poisson, avec un débit de 3800 à 11760 m³/h. Les concentrations maximales enregistrées de l'ammonium, des Nitrites, des Nitrates, du phosphore et des MES dans les rejets sont respectivement de : 0,1047 mg/l; 0,002 mg/l; 0,5 mg/l; 0,1105 mg/l et 1,8005 mg/l. Ces derniers peuvent être la source primordiale de pollution malgré les charges réduites des particules vu le débit important dans le cas de circuit ouvert.

Le raccordement par la conduite chaude de la centrale électrique, va doubler la production et augmentera les rejets jusqu'à 100 %.

L'installation d'un système de traitement est indispensable pour minimiser les produits azotés et phosphorés ainsi qu'un dégazage des N₂ et CO₂. Un protocole de suivi a été proposé pour le contrôle des rejets de la ferme et de l'environnement marin.

Mots clés: aquaculture, environnement, pollution, rejets, eutrophisation, traitement

Abstract

Discharges are considered the most important part in the impact of aquaculture on the environment studies. Characterization and quantification of fish discharges will allow in the long term, an assessment of a possible impact on the environment. This work was carried out in sea bass breeding and seabream farm in Cap Djinet, Wilaya de Boumerdes which produces about 150 tons / year of fish, with a flow of 3,800 to 11,760 m³ / h. Maximum concentrations recorded for ammonium, Nitrites, Nitrates, phosphorus and suspended solids in discharges are respectively: 0.1047 mg / l; 0.002 mg / l; 0.5 mg / l; 0.1105 mg / l 1.8005 mg / l. These may be the primary source of pollution despite the reduced particle loads even with the large flow in the event of an open circuit.

Connection to the power plant hot pipe will double production and increase discharges of up to 100%.

The installation of a treatment system is essential to minimize the nitrogen compounds and phosphorus as well as the degassing of N₂ and CO₂. A monitoring protocol was proposed to control farm discharges and the marine environment.

Key words: Aquaculture, environment, pollution, discharges, eutrophication, treatment

SOMMAIRE

Problématique	1
Introduction générale	2

Partie Théorique

I. Généralités sur l'aquaculture et sa relation avec l'environnement

I.1 Présentation de l'activité aquacole	3
I.2 Interaction aquaculture - environnement	5
I.3 Description générale des rejets de l'aquaculture	8
I.4 Les principaux impacts des rejets aquacoles sur le milieu marin	9
I.5 L'environnement marin et l'aquaculture dans la législation Algérienne	10

II. Influence des paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau sur les éléments O, N, P et C

II.1 Taux d'oxygène dissous	12
II.2 L'azote. Ammoniacal et toxicité des composés azotés	12
II.3 Le phosphore	14
II.4 Le carbone	14

III. Modification du milieu d'élevage en fonction de l'activité métabolique

III.1 Respiration	15
III.2 Excrétion des produits azotés solubles	15
III.3 Excrétion des produits phosphorés solubles	16
III.4 Excrétion solide	17
III.4.1 Les matières fécales	17
III.4.2 L'azote fécal	17
III.5 Facteurs de variations des rejets	18
III.6 Bilan de masse estimatif des rejets	18

Partie Expérimentale

IV. Matériels et Méthodes

IV.1 La ferme marine ONDPA à Boumerdes	20
IV.1.1 Présentation et localisation géographique	20
IV.1.2 Description des infrastructures de production	21

IV.1.3 Description du procédé d'élevage	23
IV.1.4 Les intrants et les sortants de l'activité	24
IV.2 Alimentation et croissance	25
IV.3 Suivi de l'élevage	26
IV.4 Suivi de la qualité de l'eau	27
IV.5 Méthodes d'analyse	28
IV.6 Simulation des rejets pour différents scénarios	30
V. Résultats et discussion	
V. 1 Suivi des paramètres de l'élevage	32
V.1. 1 Température et oxygène dissous	32
V.1. 2 Croissance et consommation de l'aliment	33
V. 2 Suivi de la qualité de l'eau	34
V.2. 1 Azote ammoniacal	37
V.2. 2 Phosphates	38
V.2. 3 Nitrites et Nitrates.....	38
V.2. 4 Matières en suspension	39
V.3 Variation des rejets pondéraux en fonction de la température, du poids individuel et de la quantité d'aliment distribuée	39
V.3 Estimation futur des rejets de la ferme ONDPA	40
V.4 Impacts des rejets et leur dispersion dans le milieu marin	42
V.5 Impacts de gestion de l'élevage	44
V.6 Impacts potentiels sur le milieu benthique	45
V.7 Impacts sur le plancton	46
VI. Mesures d'atténuation et recommandations	
VI.1 Gestion des rejets	46
VI.2 Gestion de l'aliment et de l'alimentation	47
VI.8 Gestion des déchets et produits chimiques	48
VI.9 Plan de suivi et d'échantillonnage de l'état environnemental	48
Conclusion générale	52
Références bibliographiques	
ANNEXE	

Liste des Figures

Figure 1 : Analyse des interactions en aquaculture	6
Figure 2 : Cycle de l'azote en Aquaculture	13
Figure 3 : Rejet d'azote en fonction du taux de conversion d'une nourriture composée de 40 à 50 % de protéines, in HAKANSON et al. (1988).....	15
Figure 4 : Variation de la température au cours du cycle d'élevage	32
Figure 5 : Variation de l'oxygène dissous au cours du cycle d'élevage	32
Figure 6 : Evolution de la quantité d'aliment et de la production	33
Figure 7 : Variation de taux de croissance en fonction du poids moyen individuel	34
Figure 8 : Variation de l'azote ammoniacal	35
Figure 9 : Variation de l'azote ammoniacal excrété	35
Figure 10 : Variation des phosphates	35
Figure 11 : Variation de phosphate excrété	35
Figure 12 : Variation de la matière en suspension	36
Figure 13 : de la matière en suspension produite	36
Figure 14 : Variation de Nitrate	36
Figure 15 : Variation de Nitrite	36
Figure 16 : Variation d'azote et de phosphore pondéral en fonction du poids individuel	39
Figure 17 : Variation de matière en suspension pondéral en fonction du poids individuel	40
Figure 18 : Croissance journalière en fonction de taux de nourrissage (G.Lemarié, ASC, IFREMER, 2002)	47

Liste des Photos

Photo 01 : Cages flottantes en mer	3
Photo 02 : Cages en mer	3
Photo 03 : Etang d'élevage	4
Photo 04 : Bassins d'élevage à terre	4
Photos 05 ; 06 : Photos satellite de la ferme à Cap Djinet	20
Photo 07 : bassins de pré-grossissement	21
Photo 08 : bassins de grossissement	21
Photo 09 : Puits de pompage	22

Photo 10 : Alimentation en eau neuve	22
Photo 11 : Grilles de filtration	23
Photo 12 : Canal des rejets	23

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Interaction Activité - Environnement	7
Tableau 2 : Comparaison des concentrations de divers éléments dans les effluents	9
Tableau 3 : Estimation d'azote de phosphore rejeté pour 1 kg de production	19
Tableau 4 : Tableau récapitulatif des modèles d'estimation des rejets	31
Tableau 5 : Variation annuel de la température de l'eau – cas d'exploitation de l'eau chaude (Expérience de la ferme ONDPA)	41
Tableau 6 : Estimation des rejets pour une production de 320 tonnes	42
Tableau 7 : Impact de la qualité d'aliment sur les rejets annuels (relation de HAKANSON et al .1988)	44
Tableau 8 : Plan de suivi des effluents de la ferme marine	49
Tableau 9 : Pourcentage de NH ₃ non ionisé en solution aqueuse en fonction de la température et du pH (Emerson et coll., 1975).....	Annexe1
Tableau 10 : Réactifs nécessaires pour le dosage du phosphore	Annexe3
Tableau 11 : Réactifs nécessaires pour le dosage de l'azote ammoniacal	Annexe3
Tableau 12 : Réactifs nécessaire pour le dosage des nitrates	Annexe3
Tableau 13 : Réactifs nécessaires pour le dosage des nitrites	Annexe3
Tableau 14 : Tableau récapitulatif des données du suivi	Annexe5

Abréviations et Nomenclature

Abs : absorption

C : carbone

C°: degré Celsius

CEMAGREF : Centre d'Étude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts (France)

DBO: demande biologique d'oxygène

DO: Dissolved oxygen (oxygène dissous)

ENSSMAL : Ecole supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral (Algérie)

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

GESAMP: Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection

IC: indice de conversion

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'exploitation de la mer

INRA : Institut national de la recherche agronomique

Kd: coefficient de décantation

Le bar : le nom local de loup (*Dicentrarcus labrax*) en France.

MES : matière en suspension

MEDRAP: Northern Mediterranean regional action program

N : azote

NH₃: ammoniacque non ionisé

NH₄⁺ : ammoniacque ionisé

N-NH_{3,4} : azote ammoniacal

N-NO₂⁻ : nitrites

N-NO₃⁻ : nitrates

ONDPA : Office national de développement de produits Aquaculture

OSPAR: La Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est ou Convention OSPAR définit les modalités de la coopération internationale pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du nord-est

P : phosphore

P-PO₄³⁻ : phosphate

P_S : Poids Sec

P_v: Poids vif

S: salinité de l'eau

SIPAM: Information system for the promotion of aquaculture in the Mediterranean

SMIDAP : syndicat mixte pour le développement de l'aquaculture et de la pêche des Pays de la Loire

TCJ: taux de croissance journalier

TCM: taux de croissance Mensuel

Temp : température

TNJ: taux de nourrissage journalier

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

Problématique :

A l'aube du vingt et unième siècle, la protection de la nature, la gestion des ressources naturelles, la préservation de notre environnement et de la qualité de notre cadre de vie, sont enfin devenues des choses ‘‘sérieuses’’.

Les plus grands hommes d'état, les plus hautes instances internationales, se sont tous mobilisés afin de rechercher les moyens et les politiques capables d'enrayer le terrible processus de dégradation et de disparition des milieux naturels. [1- 3]

L'étude d'impact environnementale est devenue nécessaire avant toute implantation d'une activité dans un milieu afin d'assurer sa durabilité, et de protéger le milieu de toute dégradation due à celle - ci. Les projets de l'aquaculture sont concernés par cette étude surtout sur le plan pollution vu la sensibilité de ce type d'activité qui a des facteurs qui agissent rapidement sur le milieu biologique et physique marin. [4]

Dans ce contexte, pratiquement tous les pays qui ont des activités aquacoles, ont promulgués des textes qui exigent l'élaboration d'une étude d'impact sur l'environnement pour avoir l'autorisation de lancement d'un projet aquacole.

L'Algérie de par ces conditions naturelles dispose d'un milieu écologiquement propice en sites continentaux et marins favorables à l'investissement aquacole. [5]

L'aquaculture vient renforcer le développement socio-économique du pays car elle constitue des apports considérables susceptibles d'augmenter la production d'une manière conséquente et qui pourrait jouer un rôle déterminant en ce qui concerne la sécurité alimentaire. [6, 7]

Cependant pour assurer sa durabilité, l'activité aquacole doit être gérée d'une manière responsable et compatible avec les exigences essentielles de la protection de l'environnement par le respect et l'adoption de mesures nécessaires à minimiser les possibles impacts dérivés de son activité. [8]

En aquaculture, les rejets sont considérés comme les principaux facteurs de pollution et ils peuvent avoir des impacts indésirables sur l'environnement. Dans ce cadre, la détermination des différents intrants et sortants du système d'élevage aquacole nous permet de caractériser la qualité des rejets et d'identifier les polluants majeurs. [9-12]

Introduction :

L'étude des rejets d'une pisciculture est fondée sur la connaissance des flux de matières apportées par l'établissement aquacole à la sortie, la concentration journalière des polluants dans les rejets d'aquaculture sont relativement faible à cause de la dilution, particulièrement dans le cas d'un circuit ouvert ou le taux de renouvellement des eaux d'élevage est très élevé. Donc, une estimation prévisionnelle des rejets est nécessaire. [12-14]

La prévention d'un éventuel impact ou d'accumulation des polluants nécessite une simulation afin d'estimer la quantification des rejets à long terme. [12]

Le présent travail consiste à réaliser une synthèse bibliographique afin de comprendre l'influence des facteurs d'élevage sur la qualité de l'eau en aquaculture marine et le changement de cette dernière au cours de l'élevage, de déterminer les principaux éléments sortants dans les rejets avec un suivi mensuel de la qualité de l'eau et de simuler la quantité déversée en mer à long terme.

La ferme marine d'élevage de loup et daurade ONDPA à Boumerdes, a fait l'objet d'un suivi d'un cycle d'élevage et de la qualité de l'eau. Une estimation des rejets simulée sur différents hypothèses d'évolution de cette ferme a ainsi été faite afin de prévoir les impacts majeurs et de proposer des mesures d'atténuation.

La quantification théorique a été réalisée à base des plusieurs modèles et formules, tels que la croissance en fonction des paramètres physico-chimiques et l'excrétion azoté et phosphoré de poisson, ainsi que les MES et le carbone qui sont estimés en fonction de la quantité d'aliment distribuée.

Finalement, un protocole du suivi de l'état environnemental marin autour de cette ferme a été élaboré afin de constater l'évolution de la qualité d'eau marine et de contrôler la minimisation des rejets de la ferme.

Généralités sur l'aquaculture et sa relation avec l'environnement

I.1 Présentation de l'activité aquacole

L'aquaculture (ou halieuculture, ou aquiculture) est le terme générique qui désigne toutes les activités de production animale ou végétale en milieu aquatique, ce dernier est en usage depuis le début du 20^{ème} siècle et est préconisé par l'Académie française.

Le terme "aquaculture" est utilisé particulièrement pour qualifier la culture d'organismes aquatiques (poisson, algues, crustacés, mollusques...) en milieu fermé (bassin, cage flottante, rivière, étang). Cette activité est considérée comme l'une des réponses apportées aux besoins croissant de poisson. Pratiqué depuis plusieurs milliers d'années en Asie et en Egypte, ce système de "domestication" des ressources marines connaît un essor considérable à l'échelle mondiale depuis une trentaine d'années, notamment dans les pays en développement. [15]

Cette activité se divise et se caractérise selon la zone, le mode et le système d'élevage. Dans ce cadre, on distingue :

L'aquaculture marine : Il s'agit de l'élevage en mer (cages flottantes, tables conchylicoles,) ou sur la zone côtière dans les bassins et les étangs,

L'aquaculture continentale: C'est l'élevage dans les rivières, les barrages, les retenues collinaires et les étangs artificiels remplis à partir des fourrages. Généralement cela concerne l'élevage en eau douce.

L'élevage extensif : Cette activité englobe les systèmes de production caractérisés par un faible degré de contrôle et de l'intervention humaine (comme de l'environnement), une dépendance totale en ce qui concerne la nutrition et le renouvellement de l'eau, des faibles coûts initiaux, une technologie simple et faible, une production limitée et une forte dépendance du climat local et de la qualité de l'eau. Dans la plus part des cas, cette activité se fait dans



Photo 01 : Cages flottantes en mer



Photo 02 : Cages en mer

les plans d'eau naturels (tels que les lagunes ou les baies) et les grands étangs artificiels.

L'élevage semi-intensif : Ce système de culture est caractérisé par une production de 2 à 20 tonnes/ha/an. Largement dépendant de la nourriture naturelle (l'abondance de celle-ci est augmentée par fertilisation ou complétée par l'utilisation d'une alimentation supplémentaire), l'empoissonnement d'alevins produits en éclosérie, l'utilisation régulière d'engrais, un échange d'eau ou une aération limitée, et une alimentation en eau souvent par pompage ou gravité; pratiquée normalement en étangs améliorés, parfois en enclos et en systèmes simples d'élevage en cages.

L'élevage intensif : C'est un système contrôlé caractérisé par l'intervention afin de maîtriser les facteurs limitant de l'élevage et améliorer les paramètres et l'environnement, ce dernier nous permet d'augmenter la production et industrialiser l'élevage par l'utilisation de l'aliment artificiel et la gestion de l'eau afin de maintenir sa qualité.

Système ouvert : Il correspond à l'application d'un taux de renouvellement de l'eau très élevé en circuit ouvert pour maintenir la qualité physico-chimiques adéquate et assurer une régénération de l'oxygène.

Système fermé: C'est un procédé appliqué dans les cas de capacité de pompage limité ou d'insuffisance en eau. Il est caractérisé par l'utilisation d'une série de filtres biologiques et mécaniques pour éliminer régulièrement les matières en suspension et minimiser les concentrations en produits azotés. L'oxygénation de l'eau est faite par l'oxygène liquide. Toutefois, les systèmes fermés sont utilisés dans les écloséries durant l'alevinage. En grossissement on opte pour les circuits ouvert.

Généralement, l'aquaculture marine concerné par l'étude des rejets et qui pourra avoir des impacts majeurs sur l'environnement est représentée par les fermes d'élevage de loup et de



Photo 03 : Etang d'élevage



Photo 04 : Bassins d'élevage à terre

daurade en bassins à terre appliquant un système ouvert avec un taux de renouvellement important qui est l'origine des rejets énormes déversés en mer .

I.2 Interaction aquaculture - environnement

L'activité aquacole représente une partie de plus en plus importante du secteur de la production alimentaire. Elle peut s'exercer à partir de sujets d'élevage (avec mise en valeur et engraissement en milieu naturel) ou à partir de sujets sauvages (prélèvement et engraissement en milieu naturel), mais elle peut également porter sur toutes les étapes du cycle biologique des ressources aquatiques concernées. L'émergence de l'aquaculture est une solution novatrice pour assurer la sécurité alimentaire vu le déclin des stocks sauvages et la demande croissante de poisson comme source de protéine. [9]

Les effets nocifs de l'aquaculture sur l'environnement proviennent de plusieurs facteurs : du dégradation de la nourriture non consommée par les poissons qui révèle jusqu'à 30%, des produits du métabolisme des poissons, des traitements chimiques utilisés pour éviter l'accumulation de déchets sur les filets, et des produits chimiques pour traiter les maladies et parasites des poissons. [2, 10]

Généralement les principaux problèmes environnementaux liés aux aménagements aquacoles sont fonction de la capacité de charge du milieu naturel et de l'existence de pratiques qui peuvent endommager ou perturber le milieu d'implantation. Toutefois, une méthodologie est nécessaire pour déterminer les risques et proposer les solutions. [16]

Dans le but de déterminer les grands axes de prévision des impacts sur l'environnement, une analyse des interactions dans un système de production a été entreprise pour étudier les effets des facteurs influant qui peuvent provoquer un changement de l'état initial. Karou ICHIKAWA [17] a développé une méthode de causes et effets recommandant de regarder l'événement sous cinq aspects différents : Matière, Matériel, Méthode, Milieu et Main d'œuvre (Figure 1). Cette méthode peut être appliquée sur les unités d'élevages aquacoles afin de nous permettre de ressortir les éléments à étudier et de déterminer l'interaction entre l'aquaculture et l'environnement (Tableau 1).

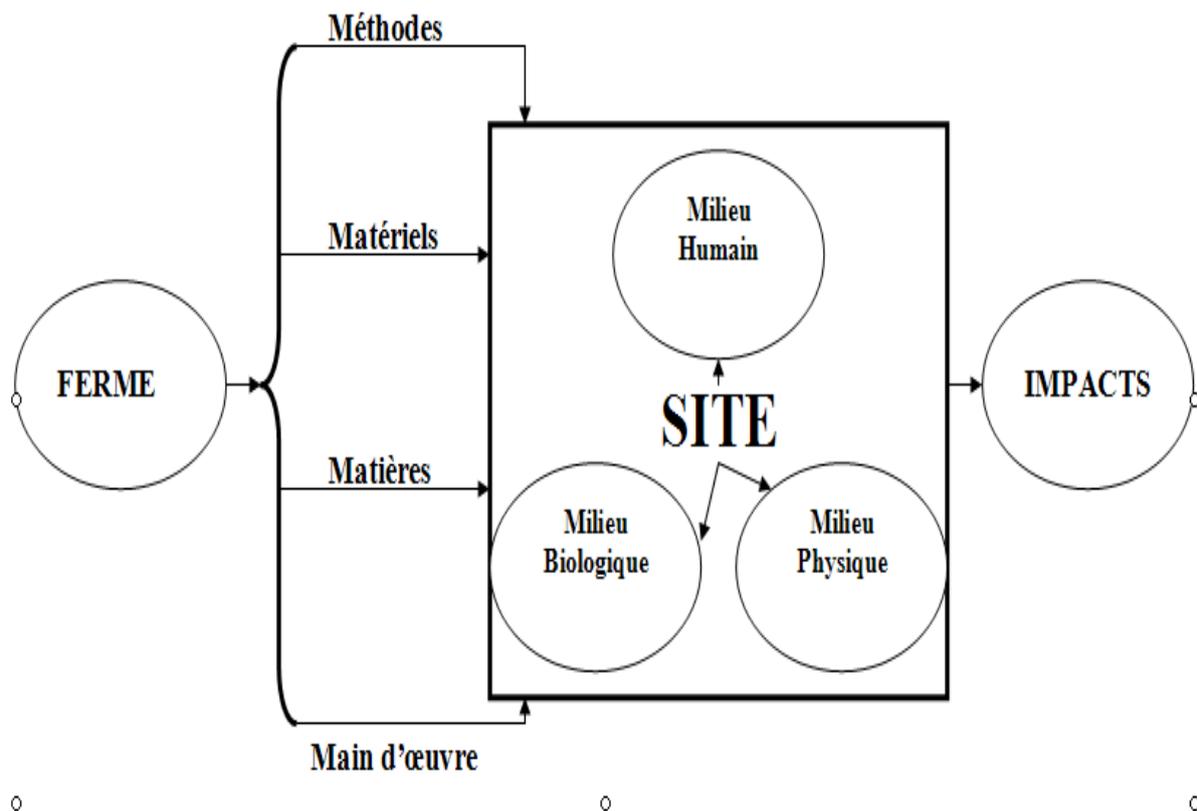


Figure 1 : Analyse des interactions en aquaculture [9]

Sur la base de ce raisonnement, et avec l'appui de différents ouvrages bibliographiques, on distingue les interactions entre l'activité aquacole et le milieu récepteur qui permettent l'identification des principales composantes de l'environnement potentiellement affectées, et facilitent l'inventaire des impacts probables sur ce milieu (Tableau 1) [9]:

Tableau 1 : Interaction Activité - Environnement.

Eléments de l'activité	Composantes de l'environnement
Occupations des terrains	littoral, intégrité écologique, eaux côtières adjacentes, faunes et flores aquatiques Population locale, utilisation des terres
Défrichement de zone humide	Sol, culture, communauté locale, faune et flore aquatique
Construction d'une ferme	Hydrologie, sol
Construction d'infrastructures de pompage, de canaux d'alimentation, de drainage, de bassin,...	Hydrologie, utilisation de sol et de l'eau, sol
Travaux d'aménagement	Marée, berges des chenaux, abris écologiques, flore et faune aquatique, eau, population locale
Technique d'exploitation	Eau (qualité, quantité), faune et écosystème aquatique, dynamique de l'écosystème, santé humaine
Eaux de rejet	Ecosystème d'accueil, environnement naturel. vie benthique, biodiversité, faune/flore, zone d'influence, environnement littoral, macrofaune
Aliment et fertilisants, pesticides, biocides	Eaux des bassins, eau de l'écosystème d'accueil, écosystème benthique, environnement naturel
Déchets et vases polluantes : effluents	Ecosystème, vie aquatique, eaux de surface,
Développement de l'aquaculture	Milieu naturel, problèmes zoo sanitaires, environnement socio-économique, potentiel biologique

Dans ce contexte, on remarque que les rejets représentent le principal facteur de l'activité qui a des liens avec un grand nombre d'impacts probables sur le milieu récepteur, c'est pour cette raison que les scientifiques et les bureaux d'études, se basent dans l'évaluation des impacts environnementaux des fermes marines, sur la qualité des rejets [9, 14, 18].

I.3 Description des rejets de l'aquaculture

L'eau est l'élément essentiel dans l'élevage des poissons, elle représente le système d'échange entre l'activité et le milieu naturel. L'étude des intrants dans ce système et leur mode de transformation au cours de l'élevage permet de déterminer les principaux éléments sortants.

Dans les fermes à circuit ouvert, de grossissement de Loup et de la daurade, l'eau neuve provenant de la mer est caractérisée par sa qualité initiale à l'état naturel avec un débit régulier important. A l'aval des bassins d'élevage la qualité de l'eau est changée due aux différentes excréments de poisson, de l'aliment non consommé, ...etc. Les eaux d'élevage sont chargées de MES, de produits Azotés et phosphorés et de dioxyde de carbone, etc. [14].

Dans l'aliment non consommé il y a une fraction particulière qui se transforme en matières en suspension (MES), le reste est dissous dans l'eau [14].

Les poissons rejettent des fèces comportant une quantité d'aliment dont une partie traverse la barrière intestinale telle que les bactéries du tube digestif (sous forme de matières particulaires) et des produits dissous (l'azote ammoniacal). L'ammoniaque (NH_3 et NH_4^+) est le principal produit excrété (80 à 85 % de l'azote total excrété) avec l'urée. Les autres produits de rejets sont les mucus, les écailles, les produits génitaux et les poissons morts. Ce type de rejets peut contribuer à la pollution plus ou moins importante du milieu récepteur [19].

Il a aussi été observé, dans l'étude de caractérisation, que les effluents piscicoles sont très dilués par rapport à d'autres champs d'activité [14, 19]. Une étude comparative indiquant des concentrations typiques de divers contaminants dans des effluents domestiques ou industriels en Suède (Tableau 2) [14] :

Tableau 2 : Comparaison des concentrations de divers éléments dans les effluents

Type d'effluent	DBO5 (mg/l)	MES (mg/l)	N total (mg/l)	P total (mg/l)
Pisciculture	8	14	1,4	0,125
Egout domestique				
Faible	110	350	20	4
Moyen	220	720	40	8
Elevé	400	1200	85	15
Egout pluvial	14	170	3,5	0,350
Usine de pâte à papier	1800			
Usine de transformation de viande	640	300	3	

Malgré ces faibles concentrations, les forts débits des entreprises piscicoles peuvent cependant amener une charge non négligeable dans le milieu récepteur. Aussi, on constate que les apports massiques d'une station piscicole sont moindres que ceux d'un petit établissement qui n'a pas de système de traitement des eaux. Ces apports peuvent également varier de façon importante entre les saisons, à cause du refroidissement des températures et donc de la prise alimentaire par les poissons [19].

I.4. Les principaux impacts des rejets aquacoles sur le milieu marin :

Les rejets d'aquaculture pourraient être une cause directe de dégradation de l'état initial du milieu marin, les principaux signes de cette dernière sont résumés en [18, 20-24]:

- Altération de la qualité des eaux due aux:
 - Forte turbidité des eaux due à l'accroissement de la charge solide en suspension au niveau du système aquatique
 - Phénomène d'envasement
 - Apport d'éléments nutritifs (azote, phosphore)
 - Stimulation de la croissance planctonique
 - Contamination par les bactéries sulfatoréductrices
 - Salinisation des eaux de surface

- Changement de la productivité des eaux côtières adjacentes
- Hausse de la quantité de matière en suspension et sédimentation
- Contamination bactérienne des eaux de surface
- Sédimentation des particules issues de nourritures non ingérées et des fèces
- Augmentation de la DBO et de l'ammoniaque
- Développement de conditions anoxiques dans les sédiments et production d'ammoniac et de sulfure d'hydrogène
- Mise en suspension de sédiments préalablement contaminés.
- Enrichissement organique forcé de l'écosystème benthique
- Aggravation de la sédimentation et des intrusions salines dans le sous-sol
- Fragilisation des niches et abris écologiques
- Suppression de la macrofaune et sa diversité par les bactéries sulfatoréductrices.
- Résistances bactériennes suite à l'utilisation des produits médicamenteux
- Perturbation de la végétation et de la faune
- Réduction de la biodiversité
- Changement de l'intégrité écologique
- Perturbation des lieux de reproduction et des nurseries de nombreuses espèces de poissons et de crustacés
- Introduction des germes pathogènes. Propagation de maladies bactériennes sur la biodiversité
- Risque pour la santé des écosystèmes
- Développement d'une résistance aux antibiotiques chez les bactéries présentes dans les sédiments
- Contamination des stocks naturels et nuisance à la biodiversité.

I.5 L'environnement marin et l'aquaculture dans la législation Algérienne :

La protection de l'environnement notamment du littoral est présente dans la législation algérienne depuis 1983 selon la loi 83-03 relative à la protection de l'environnement ou le classement des projets qui portent un risque sur l'environnement a été mis au point, dans certains décrets. [4]

Par la suite, des lois sont venues pour enrichir le cadre juridique concernant l'implantation d'une activité dans un site bien défini. On a respectivement :

- Le décret exécutif N° 98-339 définissant la réglementation applicable aux installations classées ;
- Le décret exécutif N° 99-253 portant la composition ; l'organisation et le fonctionnement de la commission de surveillance et de contrôle des installations classées ;
- La loi N° 2002-02 relative à la protection du littoral et la loi N° 2003-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

L'aquaculture est soumise à une autorisation auprès de l'administration de l'environnement après la réalisation d'une étude d'impact selon le décret exécutif N° 98-939.

La loi N° 02-02 est venue pour donner une spécificité juridique aux sites qui se trouvent dans les périmètres de littoral qui est défini (dans la même loi) comme étant les îles, les îlots et le plateau continental y compris une bande de terre d'une largeur minimale de 800 m incluant les versants de collines et les montagnes, visibles de la mer et n'étant pas séparés du rivage par une plaine littorale.

La loi N° 03-10 du 19 juillet 2003 est venue pour souligner les principaux axes de la protection de l'environnement, de définir les aires protégées et cadrer les démarches administratives pour l'implantation d'une activité classée.

II. Influence des paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau sur Les éléments O, N, P et C

II.1 L'oxygène dissous :

L'oxygène dissous est un des éléments révélateurs de la qualité de l'eau, le taux de ce dernier est modifié par la respiration des poissons [25]

Les facteurs intervenant pour fixer la quantité maximale d'oxygène qui peut être dissoute, sont la température, la pression atmosphérique et la salinité. En effet, les effets suivants sont observables :

- ✓ Toute augmentation de la température induira une diminution de la capacité de l'eau à dissoudre l'oxygène;
- ✓ L'augmentation de la pression atmosphérique conduit à une augmentation de la dissolution de l'oxygène;
- ✓ L'augmentation de la salinité diminue la capacité de l'eau à dissoudre l'oxygène.

Les apports en oxygène doivent être suffisants pour maintenir un taux minimum de 4 mg/l d'oxygène en sortie de bassin [14, 26]

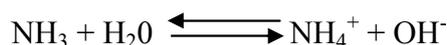
II.2 L'azote et toxicité des composés azotés :

Dans un milieu aquatique, les matières organiques azotées et les sels ammoniacaux se transforment en nitrites puis en nitrates en consommant de l'oxygène, cette nitrification représente deux réactions successives (Figure 2) :

- ✓ La nitritation : due à l'action de bactéries nitreuses (Nitrosomonas, Nitrosocystis,...),
- ✓ La nitratisation : par des bactéries des genres : Nitrobacter, Nitrocystis...

En aquaculture, l'urée produit de la dégradation des protéines, peut être hydrolysée en dioxyde de carbone et en azote ammoniacal (la somme des formes (NH₃ et NH₄⁺) qui peut être aussi, oxydé en nitrites puis en nitrates par des bactéries nitrifiantes.

Dans un milieu aqueux l'ammoniac s'ionise en ion ammonium selon la réaction :



Cette réaction réversible est très sensible aux paramètres physico-chimiques de l'eau, l'équilibre de cette réaction est conduit par différents facteurs, essentiellement la température, le pH et la salinité. Cette corrélation est modélisée pour le milieu marin en fonction de la température et de pH (Annexe 1) [14].

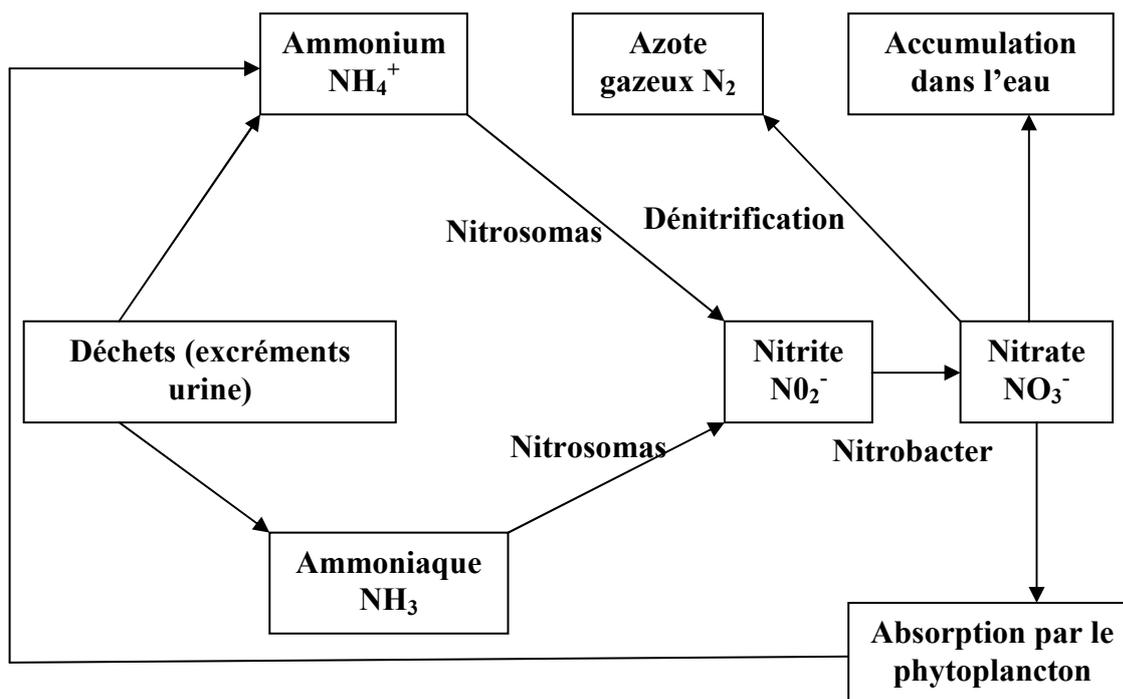


Figure 2 : Cycle de l'azote en Aquaculture [14]

Toutefois, la part de NH_3 non ionisé augmente avec la diminution de la salinité. En eau de mer, le pH et la salinité sont relativement constants 7,5-8,5 et 34-35 unités respectivement. [14]

La toxicité de l'azote dans la vie aquatique notamment l'élevage de poisson est selon la forme :

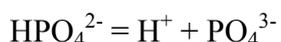
- ✓ L'azote gazeux (N_2) peut être mortel en cas de sursaturation
- ✓ Azote ammoniacal est toxique au-delà de 2,5 mg/l et 50 $\mu\text{g/l}$ pour la forme NH_3 [14, 27-28]. Selon les rapports de FAO, le NH_3 est toxique à partir de 10 $\mu\text{g/l}$ [2].

Les nitrites qui ne doit pas dépasser 0,1 mg/l, oxydent l'hémoglobine en transformant l'ion Fe_2^+ en Fe_3^+ , bloquent alors le transport de l'oxygène et provoquent de cette façon la mort du poisson par asphyxie [29]

Les nitrates ne provoquent pas la mort qu'à des concentrations très fortes supérieures à 1 g/L [27-28].

II.3. Le phosphore :

Les formes du phosphore inorganique dans les eaux naturelles sont souvent des produits de l'ionisation de l'acide phosphorique :



Les formes H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} sont souvent prédominantes. Le phosphore n'est pas considéré comme élément toxique pour la vie aquatique, mais il est un élément nutritif essentiel au même titre que l'azote pour le développement Planctonique [19].

II.4 Le carbone :

Le CO_2 est parmi les principaux métabolites dissous en aquaculture. Le carbone inorganique provient essentiellement de la respiration des poissons, il existe 4 formes de ce dernier en solution :

- ✓ 2 formes neutres CO_2 et H_2CO_3 ,
- ✓ 2 formes ioniques HCO_3^- et CO_3^{2-}

Les rejets de dioxyde de carbone ont trois effets [14,30] :

- ✓ augmentent la concentration de CO_2 dissous,
- ✓ diminuent le pH,
- ✓ entraînent finalement la baisse de NH_3 présent dans le milieu

Pour le carbone organique, le CO_2 rejeté représente environ 50% du carbone ingéré [30].

III. Modification du milieu d'élevage en fonction de l'activité métabolique

III.1. Respiration :

L'activité métabolique du poisson est traduite par sa consommation en oxygène, sa connaissance est fondamentale pour déterminer les renouvellements d'eau nécessaires dans les élevages, cette consommation est fonction de la taille et la température ainsi que l'état physiologique et nutritionnel du poisson,

La consommation journalière de l'oxygène en fonction de la température et du poids moyen individuel de Loup et de Daurade, est modélisée selon les équations suivantes [31]:

$$10-20\text{ C}^{\circ} \quad DO = 0,9883 P^{-0,2209} T^{1,6867}$$

$$20-30\text{ C}^{\circ} \quad DO = 9,4276 P^{-0,2311} T^{0,8803}$$

III.2. Excrétion des produits azotés solubles :

Les poissons sont ammoniotéliques (excrétion préférentielle de l'azote sous forme ammoniacale), contrairement aux mammifères qui sont uréotéliques (excrétion d'urée) et aux oiseaux qui sont uricotéliques (excrétion d'acide urique). Donc les principaux produits d'excrétion sont des composés azotés (azote ammoniacal, urée, acides aminés, acide urique..). L'ammoniaque (NH_3 et NH_4^+) est le principal produit excrété avec l'urée [32]. L'excrétion ammoniacale varie en fonction de la quantité et de la qualité des protéines ingérées, le nombre de repas, la taille de l'individu, la température et la concentration ammoniacale ambiante. Une relation étroite lie la quantité d'azote ingéré et l'excrétion ammoniacale (dans le cas d'individus correctement alimentés) (Figure 3).

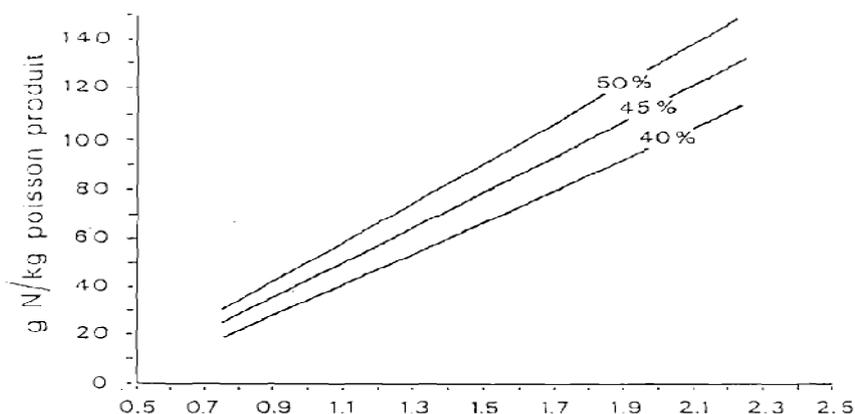


Figure 3. Rejet d'azote en fonction du taux de conversion d'une nourriture Composée de 40 à 50 % de protéines [32].

Chez le bar, les quantités d'ammoniaque et d'urée excrétées varient avec le poids de l'animal et la température). Le taux d'excrétion augmente de 12 à 18 °C mais reste constant entre 18 et 24 °C [33]. L'augmentation de la température provoque une augmentation de l'activité métabolique des poissons et induit par-delà même une augmentation de l'excrétion [34]. Aussi le pourcentage d'azote excrété sous forme d'urée diminue lorsque l'excrétion ammoniacale augmente. KAUSHIK [34]. propose la relation :

$$U = 25,4502 \log NH_4 - 86,3454 \quad (\text{coefficient de corrélation } r - 0,96)$$

U = quantité en mg d'azote uréique excrété / kg poisson/jour

NH₄ = quantité en mg d'azote ammoniacal excrété / kg poisson/jour

La digestion transforme les protéines alimentaires qui comportent de l'azote, le contenu en protéines de l'aliment influencera donc directement les rejets azotés des poissons. 30 à 50 % de l'azote ingéré retenu pour la croissance, 40 à 60 % est excrétée sous forme dissoute et 10 à 25 % se retrouve dans les fèces [14, 30].

III.3. Excrétion des produits phosphorés solubles :

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 est fonction de la quantité présente dans la nourriture, donc le phosphore peut être d'origine animale (farine d'os, farine de poisson), végétale ou minérale [14, 26-27].

La digestibilité du phosphore est très variable selon les espèces et selon l'origine du phosphore, celui d'origine végétale est sous forme de sels de calcium et de magnésium [35], celui de farine de poissons est de bonne qualité et digestible à 60 % [36].

Le phosphore ingéré est retenu par le poisson dans des proportions assez variables, selon la digestibilité de celui-ci dans l'aliment. DOSDAT [36] a affirmé que le taux de rétention ne dépasse pas 30 %, et qu'il s'établit en moyenne à 20 %, aussi un taux de rétention de 39 % est calculé en utilisant un modèle bioénergétique [14, 36].

LIAO et MAYO [37] ont proposé la relation :

$$P = 0,0162 \times F$$

P = kg de phosphore par 100 kg de PV / j

F = taux d'alimentation en % (kg d'aliment pour 100 kg de poisson par jour).

III.4. Excrétion solide : se divise en deux parties essentielles, matières fécales et azote fécal.

III.4.1. Les matières fécales :

L'excrétion solide des poissons est constituée de la fraction non assimilée de la nourriture ingérée accompagnée de mucus, de cellules desquamées et de bactéries. La production de fèces peut être estimée à partir d'étude sur la digestibilité des principaux constituants du régime alimentaire, les salmonidés rejettent de la sorte 20 à 30 % de la nourriture ingérée (en poids sec), il est important de souligner que toutes les matières en suspension produites ne sont pas rejetées, les bassins pouvant jouer le rôle de décanteurs [38].

Cette matière fécale, ainsi que l'aliment non consommé sont de bons supports pour le phytoplancton et l'activité bactérienne. [14]

Le CEMAGREF [38,39] propose une relation intéressante pour la production de matières en suspension des fermes d'élevage de loup et de daurade:

$$\text{MES} = (1 - kd) \times (33 \times \text{IC} - 20)$$

MES étant exprimé en % de l'aliment distribué

IC = indice de conversion

kd = coefficient de décantation

Des ratios de 785 g MES / T de poisson/jour, 130 g MES/ kg d'aliment distribué et encore 210 kg / T de poisson produit ont été établis par EIKEBROKK et ULGENES [40].

III.4.2. L'azote fécal :

L'azote non digestible est excrété avec les fèces. De la même façon la partie non digérée du phosphore ingéré est directement évacuée (60 à 80 %) par le tube digestif avec les autres résidus non digérés, sous forme particulière [41].

La quantité d'azote rejetée dans les fèces, provenant de la microflore intestinale et des cellules épithéliales mortes, l'influence de la salinité, de la température et du poids corporel sur la perte fécale a été démontrée ainsi que son indépendance par rapport à l'azote ingéré. Néanmoins, le bilan de masse à base des estimations théoriques évaluera la quantité d'azote total rejetée. La majorité des travaux réalisés dans ce domaine ont montré qu'environ 80% d'azote rejeté est sous forme d'azote ammoniacal [19, 32].

III.5. Facteurs de variations des rejets.

Plusieurs facteurs sont liés à la quantité et la qualité des éléments rejetés par la pisciculture, en premier rang, la quantité d'aliment distribuée est considérée comme le principal facteur caractérisant des effluents aquacoles.

La composition protéique et le taux de conversion de l'aliment distribué influent sur l'excrétion du poisson, HAKANSON en 1988 [32] a donné la relation :

$$\text{Rejet (N, P)} = \text{TCJ} \times \text{quantités (N, P) de l'aliment} - \text{quantités (N, P) du poisson}$$

$$\text{TCJ} = \text{taux de conversion}$$

Dont ACKEFORS et ENELL en 1990, [42] ont établi la relation (pour un aliment de type granulé) :

$$\text{Rejet (N, P)} = (A \times \text{CB (N, P)}) - (B \times \text{CF (N, P)})$$

A = poids frais des granulés utilisés pendant l'année (la teneur en eau des granulés est environ 8 à 10 %)

B = poids vif du poisson par an,

Cg = teneur en azote et en phosphore des granulés exprimée en % du poids frais,

Cp = teneur en azote ou en phosphore du poisson exprimée en % du poids vif.

Le mode d'alimentation peut également modifier le taux de conversion ainsi que la matière rejetée par l'élevage, donc il faut tenir compte de la variation mensuelle de la consommation et de l'excrétion, dans ce sens, les mesures ponctuelles faites sur un élevage ne permettent pas de construire un bilan annuel des éléments sous différentes formes (ionique, dissous, solide...), celui-ci devra prendre en compte les variations de la biomasse et les variations de la température (jouant sur l'excrétion), généralement les bilans sont réalisés à base de la quantité totale.

III.6. Bilan de masse estimatif des rejets

L'élaboration des bilans de masse et l'estimation des rejets en aquaculture sont considérés comme une partie essentielle dans les études d'impacts. Cette démarche est faite pour estimer l'évolution de l'état environnemental en cas de tout changement des paramètres de production. L'élaboration du bilan est selon l'équation : Rejets = Sortants – Entrants.

Dans le sens de ce raisonnement, la plus part des travaux de recherche effectués, notamment en Europe, ont concentré sur la quantification annuelle de l'azote, du phosphore et des MES. Dans ce cadre, les chercheurs ont mis au point les teneurs de ces éléments dans des différentes

espèces de poisson, ainsi que l'influence de la qualité d'aliment distribué sur l'activité métabolique. La synthèse de résultats de la recherche est la base de calcul et de l'estimation des rejets [14, 19].

Dans un bassin, les flux d'excrétion rejetés par unité de temps peuvent alors être calculés en fonction de la composition en matière organique et minérale du poisson et de sa nourriture, de la quantité d'aliment ingéré et de la croissance du poisson, tout en tenant compte des débits d'eau [43, 44].

Compte-tenu des nombreux facteurs de variation des rejets d'azote et de phosphore, il n'est pas possible de dresser un bilan type dans des conditions standards. Il apparaît comme indispensable :

- d'établir ces bilans de masse (que ce soit pour l'azote, le phosphore ou le carbone) pour chaque installation en intégrant les particularités de l'élevage (qualité et quantité de nourriture, taux de conversion, importance du cheptel, production, activité biologique, caractéristiques physico-chimiques du milieu, etc. ...),
- De réactualiser sans cesse ces bilans en considérant l'évolution de ces différents paramètres.

Exemple de bilan de masse :

Une estimation des rejets est établie pour un élevage de salmonidés au Danemark, dont les bilans de l'azote et du phosphore sont évalués pour une production d'un kg de salmonidés [32].

Les bilans de masse pour les éléments N et P, établis dans ce cadre, sont :

Tableau 3 : Estimation d'azote de phosphore rejeté pour 1 kg de production [32]

		Azote (g/kg)	Phosphore (g /kg)
Intrant	Nourriture	120	15
	Poisson	29,6	4,5
Extrants	Fèces	18	10,5
	Excrétion soluble	72,4	-
	Rejet (fèces et excrétion)	90,4	10,5

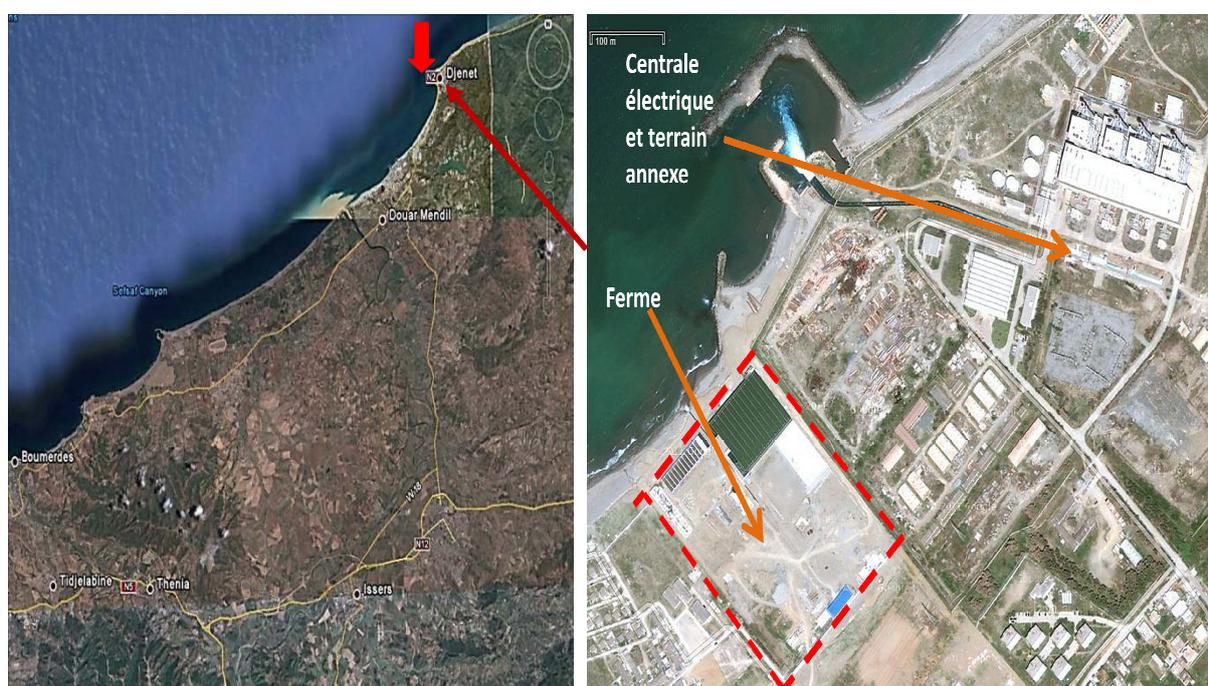
IV. Matériels et Méthodes

IV.1 La ferme marine ONDPA à Boumerdes

IV.1.1 Présentation et localisation géographique :

La ferme marine ONDPA est un établissement aquacole d'élevage de loup, de Daurade et de Sole. Actuellement elle produit que le loup et la daurade en attendant la construction des bassins de l'extension, c'est une société par actions (SPA) qui a été créée par décision du conseil de participation de l'état (CPE) pour la réalisation d'une ferme aquacole avec un capital social de 404.040.000,00 DA (environ 40 milliards de centimes). Auparavant, la société est constituée de quatre partenaires : société publique spa ONDPA, l'EPET, un privé Algérien et un partenaire espagnol : SARL GOLDEN FISH MATARES. Actuellement la société est Algérienne à 100% (Privé Algérien et ONDPA).

Située à 77 km à l'est de la wilaya d'Alger, la ferme se trouve à la commune Cap Djinet, Wilaya de Boumerdes. La ferme a pour objectif de produire 1000 Tonnes/an de poisson.



Photos 05 ; 06 : Photos satellite de la ferme à Cap Djinet

IV.1.2 Description des infrastructures de production :

La ferme possède actuellement 26 bassins destinés pour l'acclimatation des alevins importés et de pré-grossissement, et d'autres 24 grands bassins de grossissement. Aussi, l'établissement dispose des blocs annexes qui regroupent l'administration, les magasins et le laboratoire.

Le dimensionnement des structures d'élevage est comme suivant:

▪ **Bassin de pré-grossissement :**

- Longueur : 20 m
- Largeur : 2 m
- Hauteur : 1.2 m
- Volume : 48 m³ (volume d'élevage: 40 m³)
- Ouverture d'alimentation en eau : 45 cm
- Trop plein pour l'évacuation de l'eau : PVC de Ø=110 mm

▪ **Bassin de grossissement :**

- Longueur : 70 m
- Largeur : 7 m
- Hauteur : 1.2 m
- Volume : 588 m³ (volume d'élevage: 490 m³)
- Ouverture d'alimentation en eau: 75 cm
- Ouverture d'évacuation: 75 cm
- Trop plein pour l'évacuation de l'eau : PVC de Ø=200 mm



Photo 07 : bassins de pré-grossissement



Photo 08 : bassins de grossissement

▪ **Puits de pompage :**

- Longueur : 10 m
- Largeur : 4.5 m
- Profondeur : 8 m
- volume d'élevage: 490 m³

L'eau de la ferme est apportée par gravitation depuis la mer, elle est ensuite récoltée dans le puits de pompage, ce puits contient des pompes immergées qui se chargent de faire remonter l'eau pour la distribution vers les bassins d'élevage à l'aide de plusieurs pompes. La capacité de pompage est d'environ 2100 l/s.

L'eau de la ferme est un mélange apportée par deux sources, à savoir :

- Directement du canal des rejets de la centrale électrique, cette eau a une température qui avoisine les 23°C (en hiver) et 35 °C (en été).
- De puits de pompage, caractérisée par des températures saisonnières

Actuellement, des travaux de réhabilitation de la conduite d'eau chaude est en cours vu l'insuffisance de sa quantité notamment en hiver et des problèmes techniques, pour ces raison la température de l'eau n'était pas bien maitrisée durant cette année.

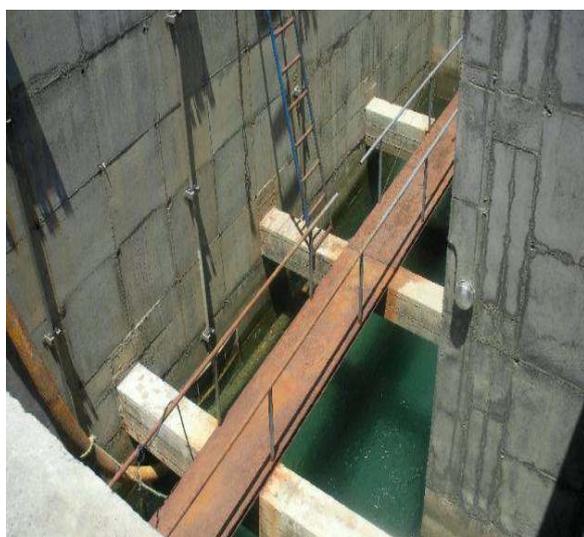


Photo 09 : Puits de pompage



Photo 10 : Alimentation en eau neuve

L'évacuation d'eau et des déchets qui sédimentent au fond des bassins seront assurés par la pose d'une grille de protection (côté intérieur des bassins) et d'une porte amovible (côté

extérieur des bassins) afin de mieux maîtriser et de régler les débits et le taux de renouvellement d'eau.

Les rejets d'eau des bassins d'élevage passeront à travers des caniveaux pour la précipitation des gros déchets et ainsi amortir la vitesse d'évacuation des rejets dont les déchets recueillis par décantation sont récupérés régulièrement.

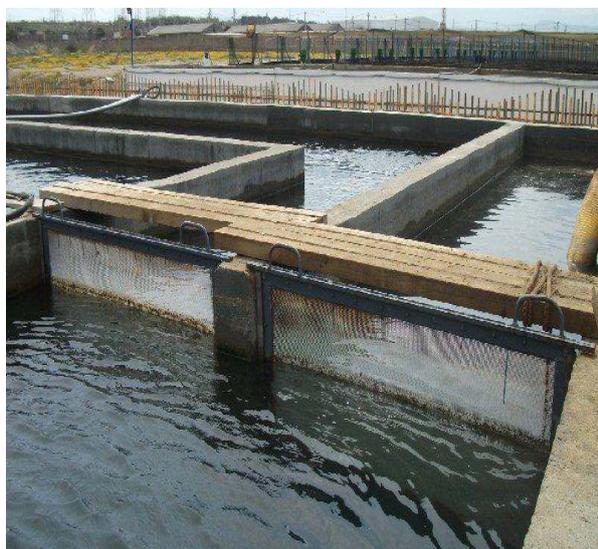


Photo 11 : Grilles de filtration



Photo 12 : Canal des rejets

IV.1.3 Description du procédé d'élevage :

Le procédé est un élevage intensif de loup et de daurade en circuit ouvert dans des bassins à terre en deux phases :

- **Phase de pré-grossissement :**

Les alevins de 5 g sont élevés jusqu'à 80 - 100 g dans les bassins de 40 m³ recouverts d'une bâche pour maintenir les conditions optimales d'élevage et pour la protection contre les oiseaux prédateurs, avec une mise en charge de 10 kg/ m³ et un taux de renouvellement de 100%/h.

Un tri taille s'est effectué chaque 20 jours pour séparer les gros poissons.

- **Phase de grossissement :**

Les poissons de 100 g seront élevés jusqu'à ce qu'ils atteignent la taille commerciale de 300 à 350 g dans des bassins de 490 m³ avec une charge variant entre 10 et 12 kg/ m³ en fin de production.

La durée totale du grossissement varie entre 12 et 14 mois en fonction du mois de début du cycle et en fonction de l'utilisation de l'eau chaude du central électrique.

Le taux de survie moyen observé durant 03 ans d'activité est environ 75% dont les 25% sont perdu pendant les différents stades d'élevage. (Moyenne : environ 1 %/mois).

La distribution de l'aliment se fait manuellement ou à l'aide d'un distributeur d'aliment. Les quantités d'aliment distribuées sont quotidiennement calculées à base de la température, du poisson (poids, santé...etc.), et des conditions d'élevage en général (charge...etc.).

IV.1.4 Les intrants et les sortants de l'activité :

Les intrants :

1. **Les alevins** : sont importés de France chez l'écloserie « les poissons de soleil », les alevins de (*Dicentrarcus labrax*) et (*Sparus aurata*) (Annexe 2) sont introduits avec un poids moyen de 3 à 5 /individu. Selon les accords de commercialisation, ces lots d'alevins doivent répondre à une série de critères de qualité initiaux : garantie sanitaire, traçabilité, homogénéité et taux maximal de déformation, le respect de ces critères doit faciliter l'acclimatation de ces alevins à leurs nouvelles conditions de vie en bassins et ainsi permettre un démarrage d'élevage dans des conditions optimales.
Le taux de protéines dans le bar (*Dicentrarcus labrax*) est environ 52% de poids sec, les teneurs moyens d'azote et de phosphore sont environ 4 et 2,5% respectivement [19].
2. **L'eau de mer**: un débit de 3800 à 11700 m³/h, avec une température qui se varie entre 18 C° en hiver et 30C° en été, un pH de 7,9-8,2, une salinité de 35-36 PSU, l'oxygène dissous varie en fonction temps de prélèvement et l'utilisation de l'oxygénation artificielle : 6.9 à 11 mg/l, et des charges de : NH₄⁺ 0,007 - 0,035 mg/l, PO₄⁻³ 0,0001-0,005 mg/l, NO₂⁻ 0,001 mg/l et NO₃⁻ 0,003 - 0,51 mg/l (*résultats du suivi*).
3. **L'aliment** : produit industriel importé, avec les caractéristiques suivantes:
 - Farine de poisson.
 - Huile de poisson.
 - Produits et sous-produits de grains de céréales.
 - Produits et sous-produits de semences oléagineuses.
 - Cocktail vitaminique et minéraux.
 - Antioxydant et antifongique.

Garanties analytiques

- Protéine 47%.
- Matière grasse 25%.
- Humidité 10 %.
- Cellulose 0,8%.
- Cendres 10%. (400g de carbone organique/1kg poids sec)
- Phosphore 1,6%.

Les sortants :

1. **La production en poisson** : avec un poids moyen de 350 g.
2. **Rejets liquides**: des rejets avec un débit moyen d'environ 10000 m³/h chargés de la matière en suspension et des excréments azotés et phosphorés.
3. **Rejets solides** : les poissons morts, les déchets et l'aliment non consommé sont collectés quotidiennement, Les autres produits de rejets sont les mucus et les écailles.

Dans l'aliment non consommé il y a une fraction particulière qui se transforme en matières en suspension (MES), le reste est dissous dans l'eau.

Les poissons rejettent des fèces comportant une quantité d'aliment dont une partie traverse la barrière intestinale telle que les bactéries du tube digestif (sous forme de matières particulaires) et des produits dissous (l'azote ammoniacal).

L'autre partie ayant franchi la barrière intestinale, et qui a participé au métabolisme sont les composés azotés, phosphorés et carbonés (qui représentent la source de dégagement de l'ammoniaque), l'urée, l'azote ammoniacal, le phosphate et autres produits dissous dans l'eau. L'ammoniaque (NH₃ et NH₄⁺) est le principal produit excrété (75 à 90 % de l'azote total excrété) avec l'urée [12, 14, 19, 45].

IV.2 Alimentation et croissance :

La ration alimentaire varie en fonction de la température et du poids moyen individuel, aussi elle calculée selon la valeur énergétique et l'indice de conversion prouvé.

Au cours du cycle d'élevage, le biologiste décide la quantité d'aliment journalier fur et à mesure de l'évolution du cheptel et des paramètres physico-chimiques. [43, 46-49]

Pour l'estimation de la quantité d'aliment distribuée à terme ou dans le cas d'autres scénarios d'élevage, Le modèle de TANGUY et LE GREL [46, 50] a été établi pour simuler la

croissance du bar pendant la phase de grossissement, le taux de croissance journalier (%.j⁻¹) est exprimé par :

$$TCJ = \alpha Pmi^{-0,34} * e^{0,12 T}$$

Dont: TCJ : taux de croissance journalier, T : température, α : coefficient varie qui avec la température ($\alpha=0,3$ si $14,5 < T < 26$, si non $\alpha=0,2$) et Pmi : poids moyen individuel.

IV.3 Suivi de l'élevage:

Au cours du cycle de production, un suivi de la production est nécessaire afin de constater l'état du cheptel tels que la croissance, les mortalités, la quantité d'aliment distribuée, le gain pondéral en poisson et l'état de consommation. Généralement en pisciculture, les informations de l'élevage sont prises quotidiennement pour certains paramètres et par fréquence hebdomadaire pour d'autres [47, 51]. En ce qui concerne notre étude, on a calculé les valeurs moyennes mensuelles de l'aliment distribué. Pour le taux de croissance, l'indice de conversion et les poids moyens de poisson sont calculés en début et en fin de chaque mois afin de constater la corrélation entre les paramètres d'élevage et les excréments, toutefois, les données regroupées en fin de chaque mois sont considérées comme état initial pour la période suivante.

Le nombre de poissons est suivi quotidiennement par la collecte et le comptage des individus morts, on distingue Ni : le nombre initial et Nf: le nombre final.

Parmi les plusieurs grandeurs d'élevages qui ont été pris en considération par l'éleveur, on a sélectionné :

Paramètres du suivi mensuel de l'élevage :

- Pmi (g) : poids moyen individuel initial pesé à base de 200 individus
- Pmf (g) : poids moyen individuel final pesé à base de 200 individus
- TCM % : taux de croissance individuel mensuel, calculé durant le jour de prélèvement selon la formule [25, 45]:
(Gain pondéral / poids initial)*100, dont le Gain pondéral = poids final – poids initial.
- Biomasse Initiale (kg) : calculé à base de nombre estimatif des poissons = Ni*pmi
- Biomasse Finale (kg) : calculé à base de nombre estimatif des poissons = Nf*pmf
- Production net mensuelle (Gain en poids) (kg) : Biomasse final d'une période donnée
Biomasse initiale
- Quantité Aliment min (kg/jour) : début de mois

- Quantité Aliment max (kg/jour) : fin de mois
- Quantité d'Aliment totale distribuée (kg/mois) : Total des quantités distribuées au cours d'un mois
- IC : indice de conversion = Aliment distribué (kg)/ poisson produit (kg)
- Volume d'élevage (m³) : volume total des bassins d'élevage exploités
- Charge appliquée (kg/m³) : Biomasse (kg) / Volume délavage (m³)
-

IV.4 Suivi de la qualité de l'eau :

Le suivi est basé sur les paramètres limitant de l'élevage telle que la température, le pH et l'oxygène dissous, et les éléments azotés et phosphorés dans les rejets tels que l'azote ammoniacal N-NH₄⁺, les phosphates PO₄⁻³ et les MES dans les rejets qui sont mesurés mensuellement afin de constater les variations de ces derniers en fonction de l'évolution de la biomasse et du poids individuel du poisson. La fréquence de l'échantillonnage et les données exploitées sont différentes selon le paramètre, dans ce cadre, on distingue:

- **La température** : la valeur moyenne mensuelle calculée à base du suivi quotidien de l'équipe technique de la ferme, par un multi paramètre YSI,
- **pH et salinité** : valeur moyenne à base des tests journaliers, par un multi paramètre YSI,
- **Oxygène dissous** : mesuré par le même multi paramètre, pendant le matin entre 06:00 et 07:00 dans le puits de pompage avant toute oxygénation ou aération, et dans la sortie des rejets. les teneurs de l'oxygène dissous en écosystème marin sont importantes surtout pendant la nuit et le matin entre 02:00 et 07:00 qui correspond à une grande consommation de l'oxygène par les phytoplanctons, ces derniers, compensent le manque de l'oxygène dans les rejets durant l'après midi.
- **Ammonium, Phosphate, Nitrate et Nitrite**: prélèvement mensuel au niveau de l'entrée de l'eau neuve et de la sortie des rejets, l'échantillonnage se fait entre 10:00 et 12:00 qui est la période de sécrétion chez le loup et la daurade [36], l'analyse est réalisée par le spectrophotomètre UV – Jasco V-630 par la mesure de des absorbances 630 nm , 885 nm, 543 nm respectivement selon la méthode d'AMINOT et CHAUSSEPIED [52]..
- **MES** : sont mesurées dans l'eau de pompage et à la sortie de rejets, l'eau est filtrée par une rampe de filtration sou vide utilisant un filtre en cellulose Whatman 45 µm.

IV.5 Méthodes d'analyse :

Dosage de l'azote ammoniacal (N-NH_{3,4}) :

La méthode de KOROLEFF [52]

Principe : Cette méthode mesure la totalité de l'azote ammoniacal, soit NH₃+N-NH₄, symbolisée par N-NH_{3,4}. L'ammoniac forme une monochloramine avec l'hypochlorite en milieu légèrement basique, cette dernière réagit avec le phénol pour former le bleu d'indophénol.

Mode opératoire:

1. Prendre 100 ± 5ml d'échantillon directement dans le flacon à réaction ;
2. Ajouter 3ml de réactif R1 (Annexe 4), boucher et agiter pour bien homogénéiser ;
3. Ajouter sans attendre 3ml de réactif R2 (Annexe 4), boucher et agiter à nouveau ;
4. Placer immédiatement à l'abri de la lumière pendant 6 à 8 heures (ou pendant une nuit à température ambiante) ;
5. Mesurer l'absorbance à 630 nm par rapport à l'eau distillée en cuve de 1cm de trajet optique.

La valeur de l'absorbance est reportée sur la courbe d'étalonnage pour en déduire la concentration en azote ammoniacal de l'échantillon. (Annexe 3).

Dosage du phosphore par le dosage des phosphates (PO₄⁻³) :

La méthode de MURPHY et RILEY [52].

Principe : Les ions phosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium, en présence d'antimoine III, pour former un complexe que l'on réduit par l'acide ascorbique; cette forme réduite, de coloration bleue, a un maximum d'absorption à 885 nm. Ce composé bleu contient le phosphore [52].

Mode opératoire :

1. Préparer le mélange réactif :
 - 100 ml de solution de molybdate d'ammonium.
 - 250 ml d'acide sulfurique 2,5mol/l.
 - 100 ml de solution d'acide ascorbique.
 - 50 ml de solution d'oxytatrate de potassium et d'antimoine
2. Mesurer 100 ml d'échantillon ;

3. Ajouter 10ml du mélange réactif et homogénéiser aussitôt ;
4. Attendre 5 minutes et mesurer l'absorbance à 885 nm en cuve de 1cm de trajet optique, par rapport à l'eau distillée.

La valeur de l'absorbance est reportée sur la courbe d'étalonnage pour en déduire la concentration en ions phosphates de l'échantillon (Annexe 3).

Dosage des nitrites

La méthode de BENDSCHNEIDER et ROBINSON [52].

Principe : Sous une température entre 15vC° et 25 C°, les ions nitrites forment un diazoïque avec la sulfinilamide en milieu acide ($\text{pH} \leq 2$), puis le diazoïque réagit avec le N-naphtyl-éthylenediamine pour former un composant coloré.

Mode opératoire:

1. Prendre 50 ± 1 ml de l'échantillon ;
2. Ajouter 1ml du réactif R1 (Annexe 4) et mélanger ;
3. Laisser reposer 2min ;
4. Ajouter 1ml du réactif R2 (Annexe 4) et mélanger ;
5. Attendre au moins 10 minutes mais pas plus de 2 heures ;
6. Mesurer l'absorbance en cuve de 1cm à la longueur d'onde de 543 nm, en prenant l'eau distillée comme référence

La concentration en nitrite de l'échantillon est obtenue à partir de la courbe d'étalonnage. (Annexe 3)

Dosage des nitrates

La méthode par réduction quantitative ($> 95\%$) des ions NO_3^- [52].

Principe : Le dosage des ions NO_2^- après la réduction des nitrates par passage de l'échantillon sur une colonne de cadmium traitée au cuivre.

Mode opératoire :

Analyse de la concentration totale nitrate + nitrite :

1. Prendre 100 ml d'échantillon ;
2. Ajouter 2 ml de la solution concentrée de l'échantillon de chlorure d'ammonium ;
3. Verser environ 5 ml de cette solution dans la colonne et les laisser écouler ;

4. Rincer une éprouvette graduée de 50 ml avec quelques ml de la solution sortant de la Colonne et recueillir 50 ml de l'effluent ;
5. Ajouter 1 ml de R1 (Annexe 4), mélanger, laisser reposer 2min ;
6. Ajouter 2 ml de R2 (Annexe 4), mélanger ;
7. Attendre au moins 10 minutes mais pas plus de 2 heures pour mesurer l'absorbance à 543 nm par rapport à l'eau distillée.

Analyse des ions nitrites :

Prendre 50 ± 1 ml d'échantillon ajouter 1ml de solution concentrée de NH_4Cl et mélanger ;
Pour suivre le dosage en suivant les mêmes étapes ci-dessus.

La valeur de l'absorbance des nitrates de l'échantillon est obtenue par la différence entre les absorbances des nitrites totaux et des nitrites seuls.

IV.6 Simulation des rejets:

La simulation consiste à estimer les quantités d'azote total, de phosphore total, de carbone et des MES d'un cycle de production à base des modèles théoriques. Cette quantification est réalisée pour les cas de plusieurs scénarios d'évolution de la ferme d'étude à savoir l'installation de la conduite d'eau chaude qui va permettre à maintenir une température d'élevage voisine à 26 C° , et/ou l'augmentation de la production après l'extension de la ferme par la construction d'autres bassins.

La durée du cycle de production varie en fonction des conditions d'élevage.

La synthèse bibliographique des travaux de LEMARIE *et al.*, de BLANCHETON *et al.*, de HAKANSON *et al.*, de DOSDAT, de LIAO et MAYO, de FAURE et de DEVEILLER [19, 30, 32, 36-39, 45], nous a permis de ressortir les équations de l'estimation des éléments rejetés en fonction de la quantité d'aliment distribuée. Le tableau suivant récapitule les formules et les modèles exploités dans la quantification théorique et la simulation:

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des modèles d'estimation des rejets

Désignation des éléments calculés	Formule du calcul
Gain en poisson annuel (kg) : G	G = Production annuelle prévue (kg)
Quantité d'aliment distribuée (kg/an) : Q	Q = G * IC (Gain en poisson, Indice de conversion prouvé)
Quantité d'aliment distribuée en poids sec (kg/an) : Q_{sec}	Q_{sec} = Q Aliment * Taux de poids sec (90%) Taux d'humidité d'aliment = 10%
Quantité d'azote total dans Aliment (kg/an) : N_T	N_T = Q_{sec} * Taux de protéine dans l'aliment (40%) * 6,25% 6,25% = taux d'azote dans les protéines
Quantité d'azote total utilisé par les poissons (kg/an)	= G_{poisson} * Taux de poids sec (25%) * Taux de protéine (52%) * 6,25%
Quantité d'azote total excrété dans les rejets (kg/an)	= Azote consommée – Azote convertie
Ammoniaque total (NH ₃ et NH ₄) (kg/an)	= 80 % d'azote total excrété (valeur moyenne des résultats de la recherche)
Phosphore total (kg/an)	= 0,025 * Quantité d'aliment en poids sec
Phosphore PO ₄ (kg/an)	= 0,014 * Quantité d'aliment en poids sec
MES dans rejets (kg/an)	= (1-kd)*(33* IC-20)*A/100 (kd=coefficient de décantation)

V. Résultats et discussion

V. 1 Suivi de l'élevage et de la qualité de l'eau

V.1. 1 Température et oxygène dissous :

Dans le cas de l'utilisation d'une eau de mer naturelle sans l'exploitation de la conduite chaude de la centrale électrique, la température dans les bassins d'élevage varie selon la saison et les conditions climatiques, au cours de la période d'étude (figure 4).

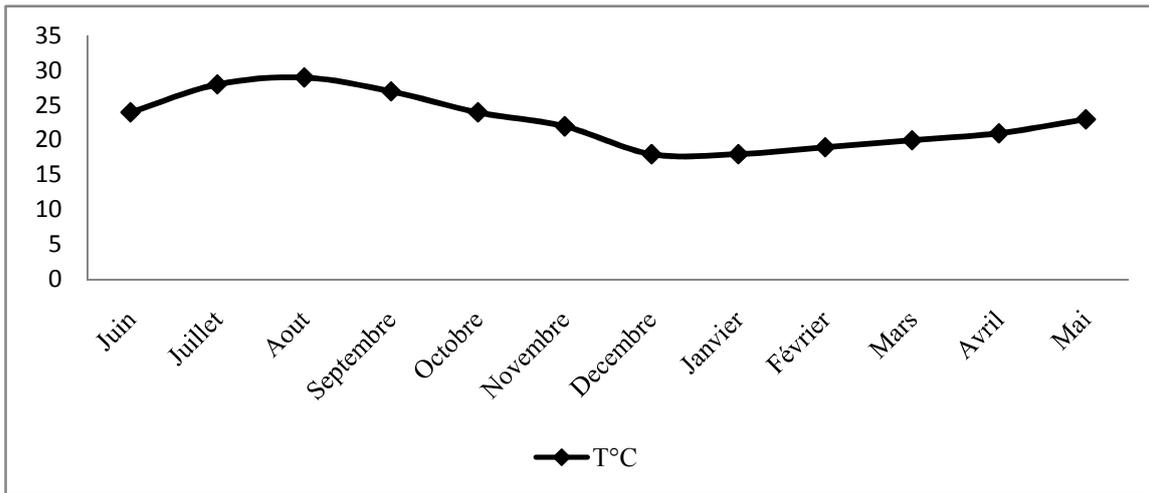


Figure 4 : Variation de la température au cours du cycle d'élevage

Les valeurs mensuelles enregistrées durant la journée varient de la température minimale de 18 °C aux mois de décembre janvier, et de 29 C° comme température maximale observée en mois d'Aout.

Pour l'oxygène dissous, les résultats sont exprimés dans la figure 5:

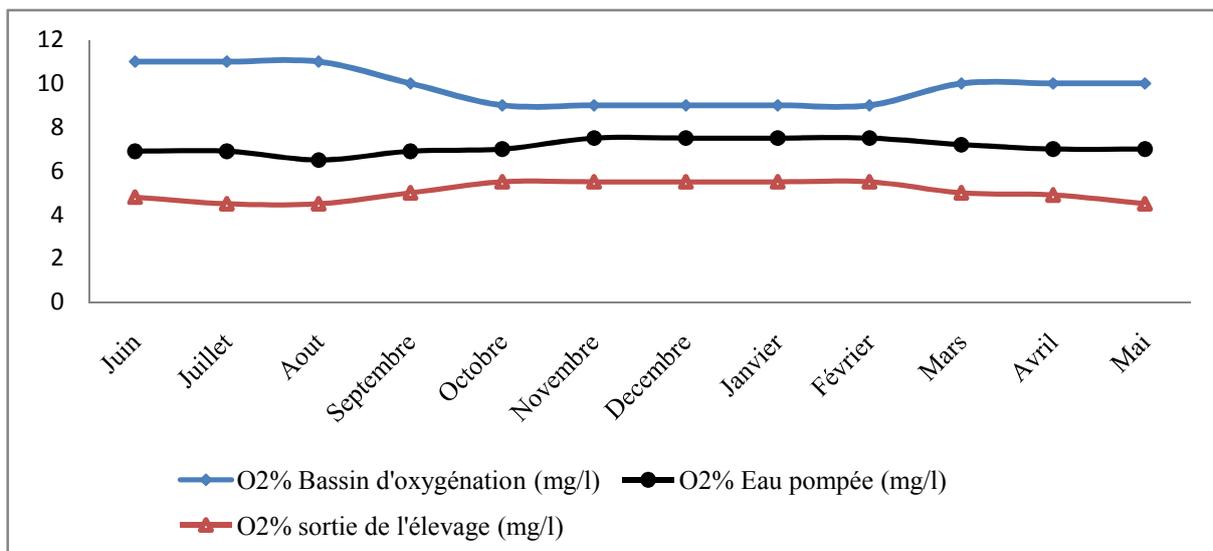


Figure 5 : Variation de l'oxygène dissous au cours du cycle d'élevage

A l'origine, l'oxygène dissous dans l'eau de mer pompée est de 6,9 à 7,5 mg/l selon l'heure, la température et l'état de la mer. Toutefois les teneurs de l'oxygène dépassent la saturation durant l'après midi particulièrement au printemps et en été vu le bloom phytoplanctonique pour atteindre 8,5 mg/l (Fig. 5). La concentration de l'oxygène dissous à la sortie des rejets se situe entre 4,5 et 5,5 mg/l, cette valeur est considérée comme limite biologique pour le bien être du poisson. Chez le bar, et hors les besoins métaboliques, la diminution de l'oxygène au dessous de 4 mg/l provoque un stress et influe sur la croissance et le comportement du poisson [31, 53]. Cette concentration d'oxygène en élevage est maintenu grâce à l'oxygénation artificielle continue de l'eau neuve afin d'augmenter la concentration de l'oxygène à l'entrée jusqu'à 10,5 – 11 mg/l pour la consommation des poissons.

A cause de la chute de température, l'utilisation de l'oxygène liquide est limitée en hiver, l'activité métabolique étant réduite ce qui cause par la suite une diminution dans la croissance et la consommation de l'aliment.

V.1. 2 Croissance et consommation de l'aliment :

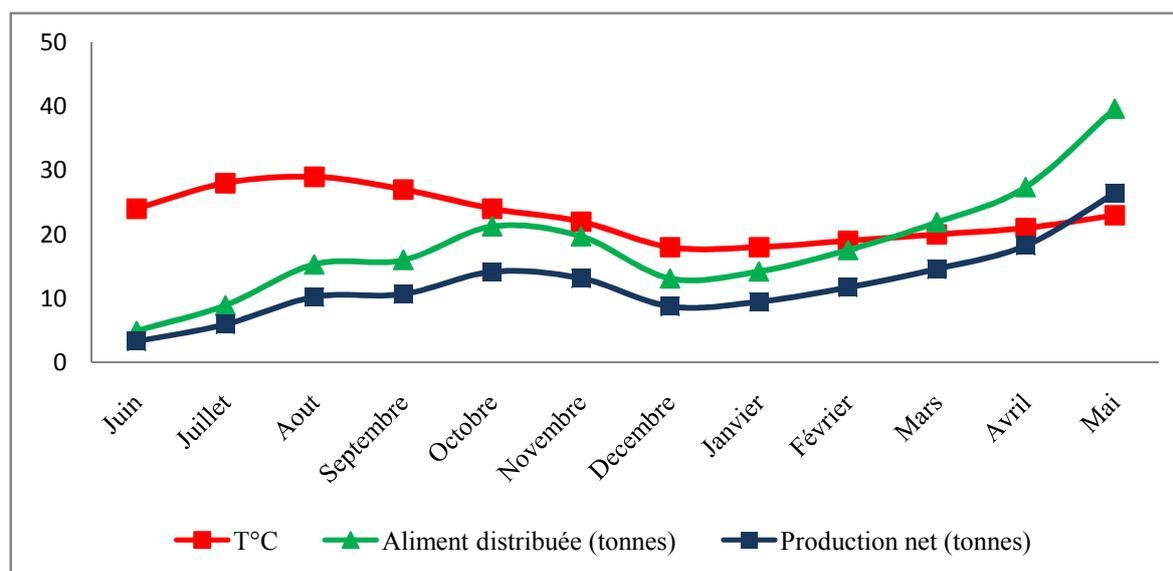


Figure 6 : Evolution de la quantité d'aliment et de la production au cours du cycle d'élevage

En élevage aquacole, et en fonction des conditions d'élevage qui influe sur le taux de croissance du poisson tels que le poids moyen individuel et la température de l'eau, la quantité d'aliment distribuée est calculée et corrigée régulièrement exploitant le modèle de TANGUY et LE GREL [46] cité auparavant (page 26). Pour notre cas étudié, on constate la même allure de variation des quantités mensuelles de l'aliment et du gain en poisson avec un rapport constant entre ces dernières au cours de la période d'élevage ce qui traduit une bonne

gestion de l'alimentation aussi un taux de survie stable, aussi on observe une diminution plus au moins considérable de ces quantités durant la période d'hiver caractérisée par une chute de la température qui est un facteur limitant de la croissance.

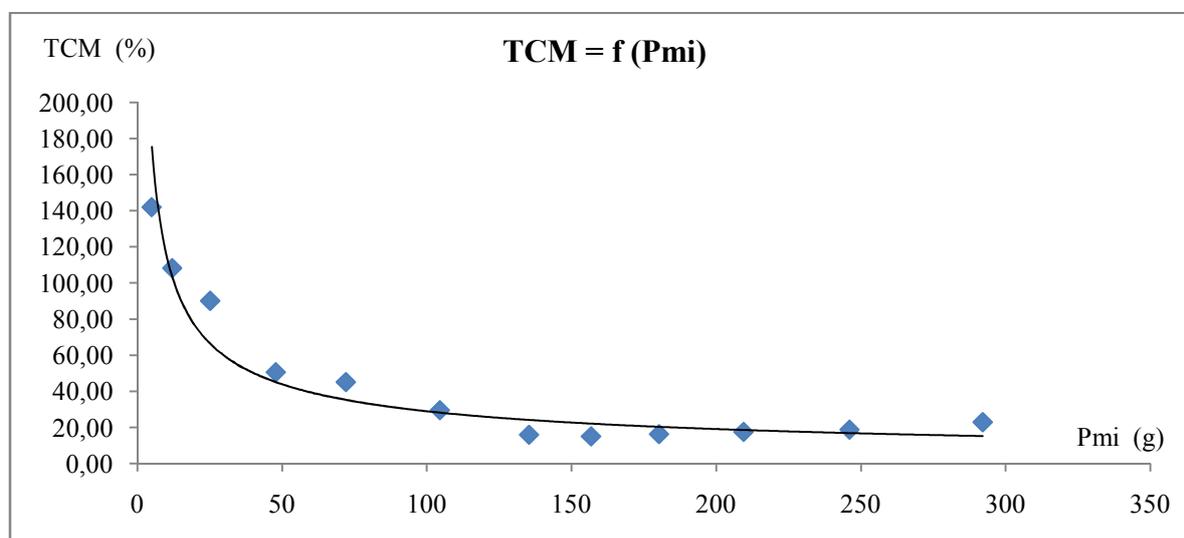


Figure 7 : Variation de taux de croissance en fonction du poids moyen individuel

Le taux de croissance mensuelle décroît en puissance négative en fonction du poids moyen individuel, une croissance de 142% / mois a été enregistrée durant le premier mois d'élevage, cette dernière est diminuée au cours du cycle pour se stabilise relativement entre 25 et 20% après que le poisson atteinte les 150 g.

Les travaux de BARNABE [25] indiquent le taux de nourrissage journalier du loup pour une température entre 20 et 25 °C qui correspond à 6 % / j pour un poisson de 1-5 g ; 3 %/ j pour un poisson de 5-20 g ; 2,5 %/j pour un poisson de 20-50 g.

Nos résultats ont donné une courbe de tendance de même allure et forme de celles des travaux réalisés par TANGUY et LE GREL [46].

La compréhension de ces relations, et la constatation de la différence entre les données théoriques et réelles, nous permet de bien estimer la production et l'alimentation pour plusieurs scénarios ou projets afin de quantifier les rejets et évaluer les impacts probables.

V.2 Suivi de la qualité de l'eau :

Les figures ci-après représentent les résultats de suivi de la variation des produits azotés, phosphorés et de la matière en suspension dans l'eau d'élevage et dans les rejets :

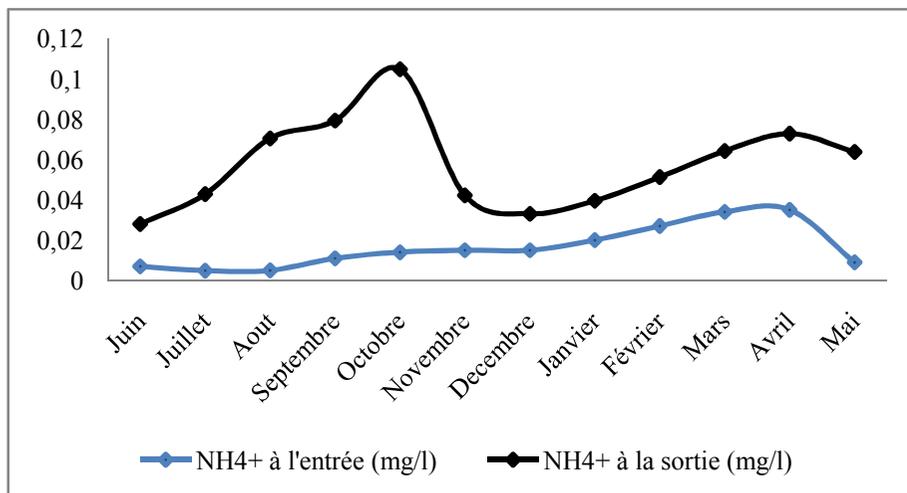


Figure 8 : Variation de l'azote ammoniacal

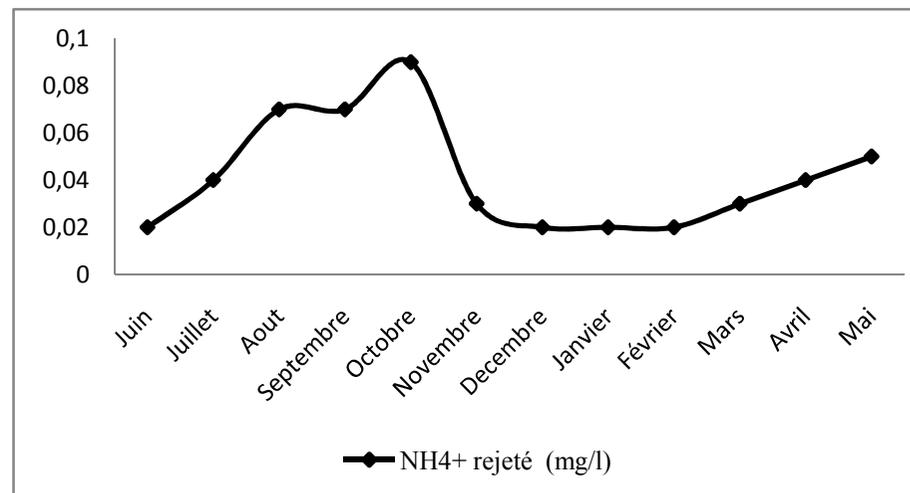


Figure 9 : Variation de l'azote ammoniacal excrété

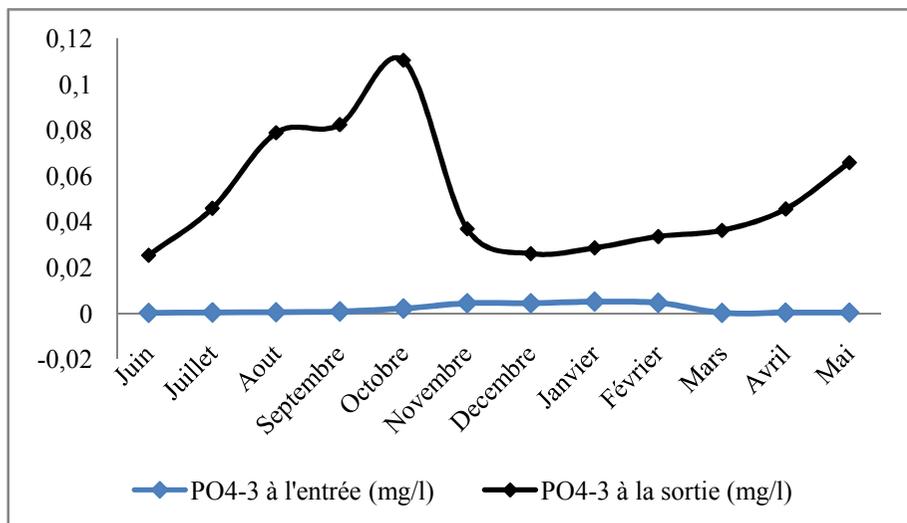


Figure 10 : Variation des phosphates

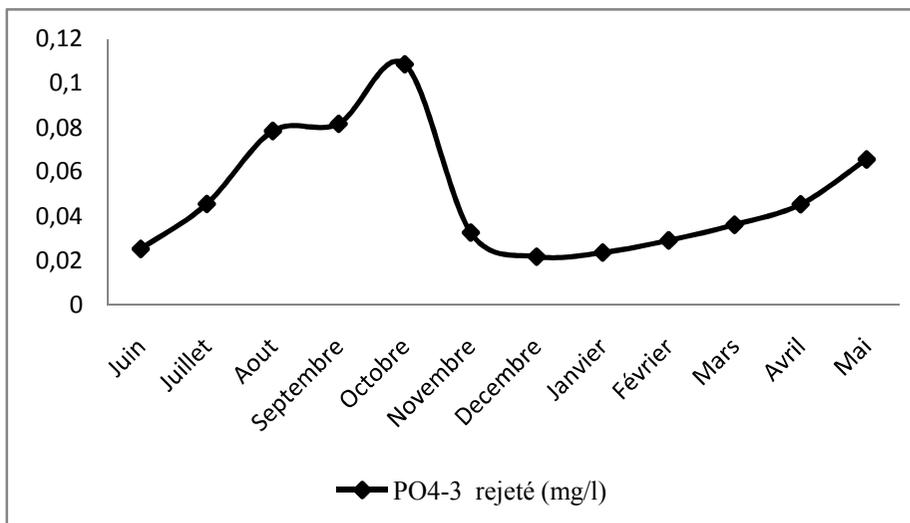


Figure 11 : Variation de phosphate excrété

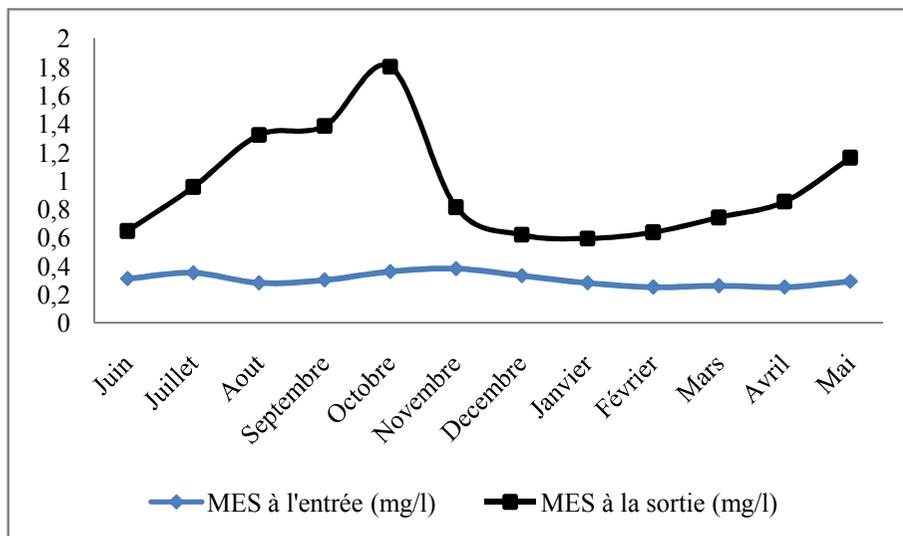


Figure 12 : Variation de la matière en suspension

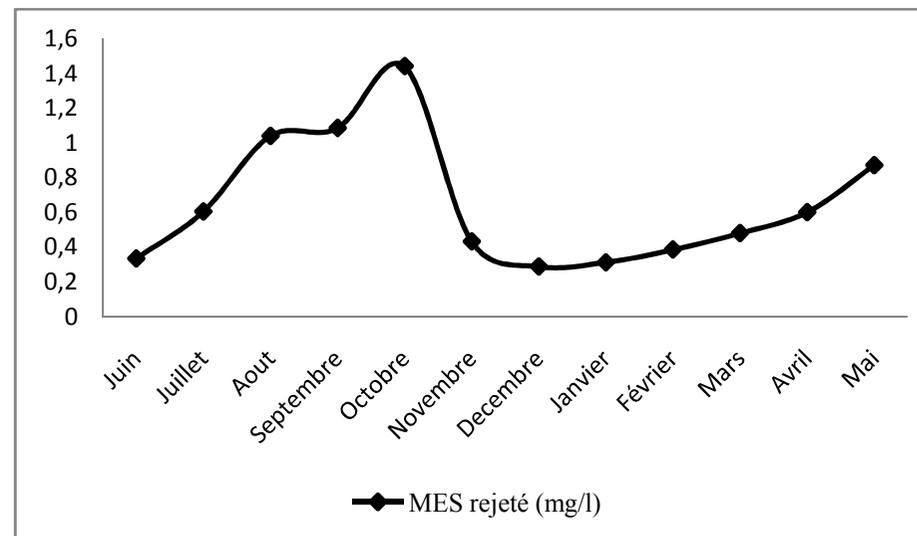


Figure 13 : de la matière en suspension produite

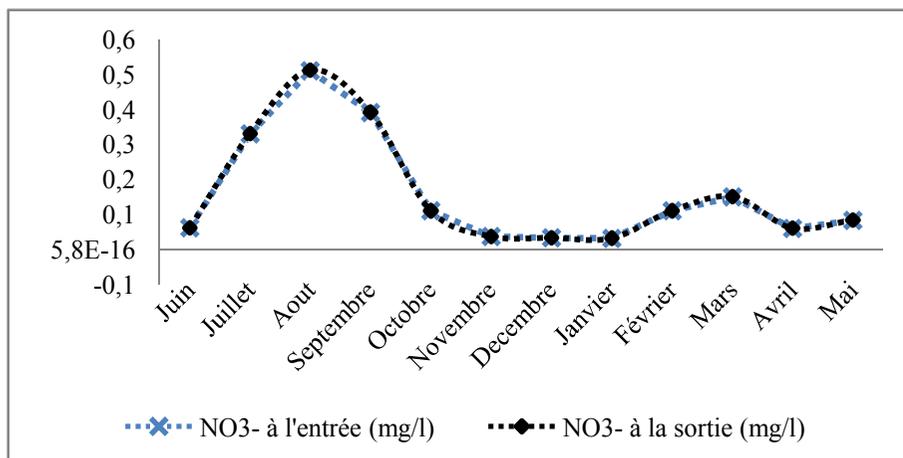


Figure 14 : Variation des Nitrates

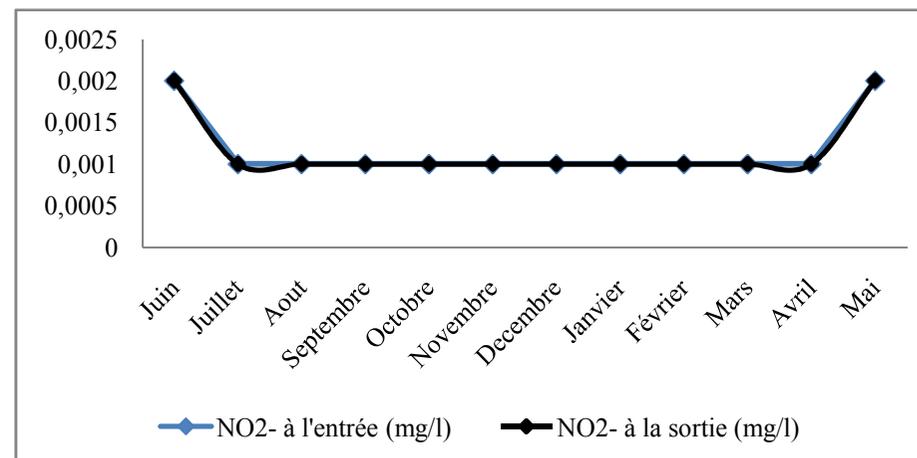


Figure 15 : Variation des Nitrites

V.2. 1 Azote ammoniacal :

Les teneurs en ammonium (NH_4^+) enregistrées dans l'eau neuve de pompage durant le cycle de production varient entre 0,0049 – 0,035 mg/l (Fig. 8), la valeur maximale a été notée au printemps au mois d'avril. La présence d'azote ammoniacal dans l'eau de mer peut être due à la dégradation de la matière organique et végétale, aux rejets industriels, aux engrais, etc... Elle peut être aussi due au phénomène de réduction des nitrates en ammonium. Il est à signaler que les variations de concentrations en NH_4^+ changent légèrement durant l'année étudiée, avec une augmentation considérable au printemps.

Dans les rejets à la sortie du système d'élevage, les teneurs de l'ammonium varient entre 0,02 et 0,1 mg/l (Figure 8,9). Contrairement à l'entrée, la concentration maximale d'une valeur de 0,1047 mg/l a été enregistrée en mois d'octobre, cependant en mois d'avril aussi, il a été noté une augmentation importante de l'azote ammoniacal. Au niveau de notre système caractérisé par un temps de séjour très réduit (30 min à 1 heure) vu le grand taux de renouvellement qui atteint jusqu'à 200%/h, le NH_4^+ excrété par les poissons est très dilué.

Analysant les résultats exprimés dans les figures 8 et 9, l'excrétion de l'azote augmente en fonction de l'activité métabolique de poisson qui est liée avec la température et le poids individuel, dont les rejets azotés sont minimales en hiver vu la diminution de la température qui provoque un ralentissement de la croissance. L'excrétion reprend ensuite le rythme avec l'augmentation de la température mais elle est moins importante au début d'élevage où le poisson est plus petit.

Ces résultats, nous permettent de relever que la fin d'été – début d'automne et le printemps en fin du cycle, sont les deux périodes critiques d'une ferme aquacole d'un point de vue pollution où l'environnement devra faire l'objet d'un suivi rigoureux, ces conclusions sont confirmées par la bibliographie [27, 30, 46, 54].

Les teneurs en azote ammoniacal dans les rejets de cette ferme sont acceptables si elles sont comparées avec d'autres rejets industriels dont les teneurs sont largement inférieures aux normes européennes des rejets aquacoles qui exigent une limite de 1 mg/l et 20 mg/l d'azote total dans les rejets domestiques. Néanmoins, le flux important d'évacuation peut participer à enrichir le milieu récepteur par des sels nutritifs qui provoquent des problèmes si la capacité des courants est insuffisante à les disperser. [55-59],

V.2. 2 Phosphates :

Une faible concentration de phosphore a été signalée dans l'eau neuve de pompage avec une variation annuelle entre 0,0001 et 0,005 mg/l (Figure 10). Les teneurs de phosphore sont relativement importante dans les rejets, avec un intervalle du 0,0253 à 0,1105 mg/l (Figure 10,11), la concentration augmente progressivement avec l'augmentation de la biomasse, d'autre part, on constate que l'allure de cette augmentation est la même que celle de l'ammoniaque (Figure 8,9).

Pour la vie aquatique, le phosphore ne doit pas dépasser une concentration de 0.4 mg/l. Les pays Européens ainsi que le gouvernement du CANADA exigent un seuil limite de 0.2 mg/l dans les rejets déversés en mer. [55],

La concentration des phosphates enregistrés dans les rejets peut provoquer une eutrophisation du milieu naturel [54]. A cet effet, l'installation d'un système de traitement est nécessaire.

V.2. 3 Nitrites et Nitrates :

La variation des concentrations de nitrites et nitrates enregistrés dans les rejets ne sont pas vraiment significatives. Le bilan entré-sortie donne des résultats très faibles de 0,00 à 0,001 mg/l, ce qui explique que les graphes de ces éléments semblent presque identique comme illustré dans les figures 14 et15.

Dans un système aquacole, les nitrites et le nitrates sont des produits de l'oxydation de l'azote ammoniacal, vu que le temps de passage (temps de séjour dans les bassins) est très réduit (30 min) à cause du grand taux de renouvellement, le constat de variation de ces éléments n'est pas significatif. [27, 30, 46, 60]

Pendant la période allant du mois de mai au mois de juin, la valeur maximale enregistrée de nitrite est de l'ordre de 0,002 mg/l alors que celle du nitrate est d'environ 0,5 mg/l (Figure 14, 15)

Selon la bibliographie, ces concentrations ne génèrent pas des problèmes pour le milieu marin à court terme [48-49, 58-59, 61-62].

V.2. 4 Matières en suspension :

Les valeurs de l'eau neuve d'alimentation varient de 0,25 à 0,38 mg/l alors qu'à la sortie concentration augmente considérablement dans un intervalle compris entre 0,5915 et 1,8005 mg/l. Les rejets sont chargés en MES avec un bilan observé de 0,34 à 1,5 mg/l. Malgré que les rejets des MES restent acceptables selon les normes européennes qui limitent les MES dans les rejets déversés en mer à 35 mg/l [59], il est recommandé de penser à une solution pour minimiser ces derniers afin d'éviter l'impact à long terme vu le flux très important de renouvellement.

V.2. 5 Variation des rejets pondéraux en fonction du poids individuel :

L'expression des rejets (Bilan d'entrée et sortie) en fonction du poids moyen individuel donne la même allure de variation pour tous les éléments suivis (Figure 16, 17), on constate l'excrétion maximum pour les petits poissons dont les rejets pondéraux diminuent avec la croissance du poisson pour se stabiliser après avoir atteint un poids de 200 g/ individu.

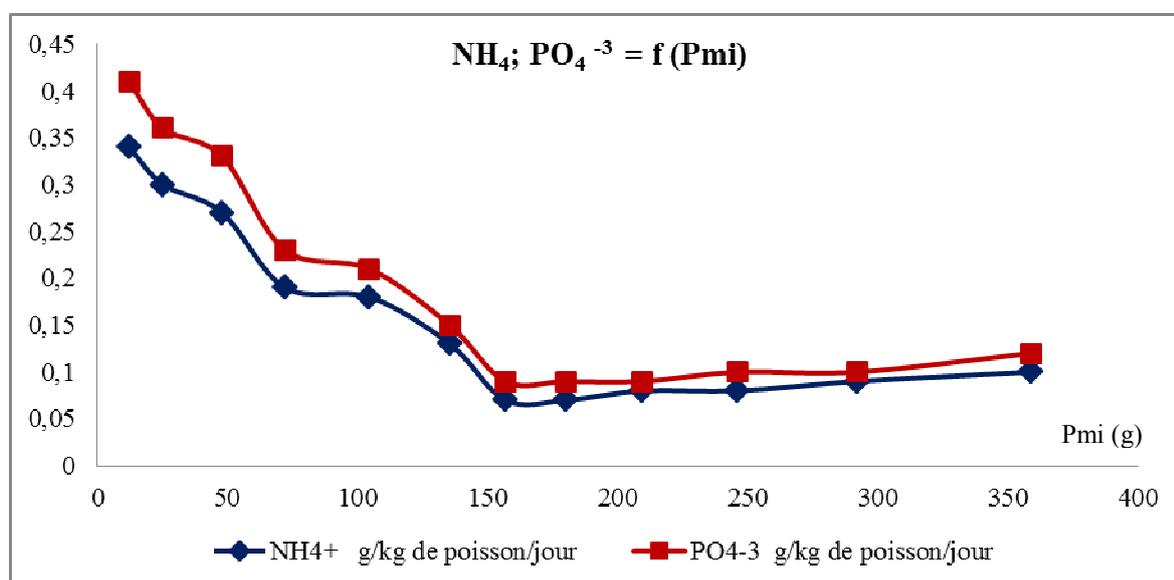


Figure 16 : Variation d'azote et de phosphore pondéral en fonction du poids individuel

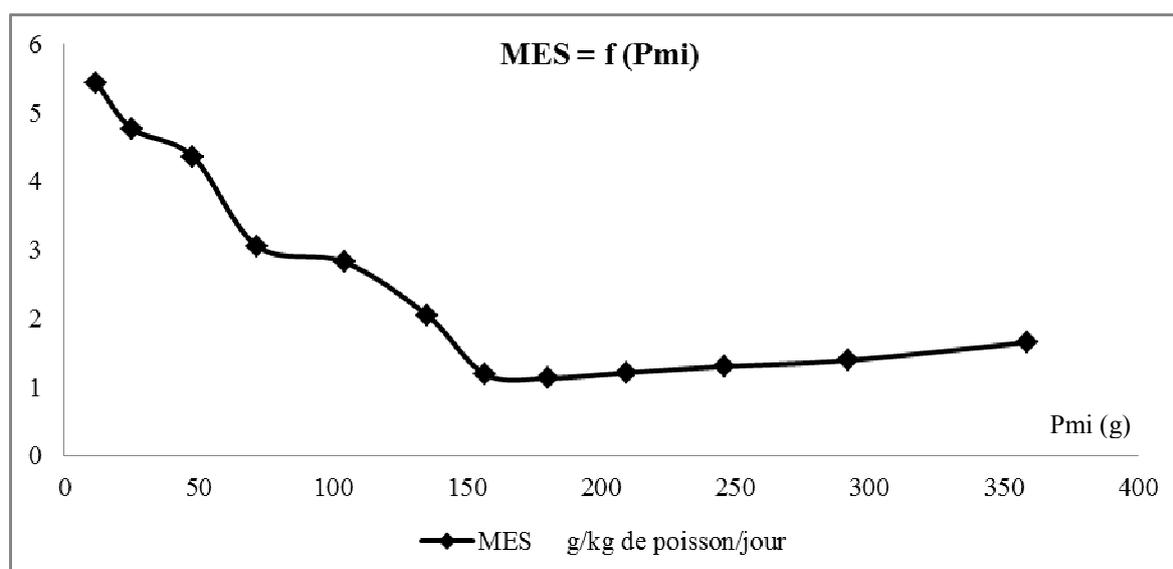


Figure 17: Variation de matière en suspension pondéral en fonction du poids individuel

Le suivi du cheptel durant un cycle de production nous permet de constater des excréments maximaux pour les individus d'environ 5 g dont 0,35, 0,40 et 5,5 g/kg d'azote, de phosphore et des MES respectivement. Les rejets pondéraux diminuent pour atteindre des valeurs de 0,10 ; 0,15 et 2 g/kg en fin de cycle 250 g. (poids individuel d'environ 350 g) (Figure 16, 17). Ces résultats nous permettent d'estimer les rejets pour réaliser les études d'impact des nouveaux projets aquacoles afin de prévoir des solutions d'atténuations.

V.3 Estimation futur des rejets de la ferme ONDPA :

L'installation du réseau de l'eau chaude provenant de la centrale électrique permet de maintenir la température de l'eau d'élevage à la ferme selon le tableau suivant (Tableau 5):

**Tableau 5 : Variation annuel de la température de l'eau – cas d'exploitation de l'eau chaude
(Expérience de la ferme ONDPA)**

Mois	Température moyenne de l'eau (C°)
Janvier	23
Février	25
Mars	25
Avril	25
Mai	26
Juin	27
Juillet	28
Aout	30
Septembre	28
Octobre	26
Novembre	25
Décembre	23

Ces valeurs de température permet une croissance optimale ce qui provoque une augmentation de la production jusqu'à 320 tonnes/an (application du model de TANGUY et LE GREL [46]) (voir page 26).

Sur la base d'une production de 320 tonnes de poisson/an, le tableau suivant exprime l'estimation des sorties annuelles (appliquant les modèles et les relations d'estimation : voir la page 31) :

Tableau 6 : Estimation des rejets pour une production de 320 tonnes.

Désignation	Quantité estimée
Gain en poisson annuel (kg) :	320 000,00
Quantité d'aliment distribuée (kg/an)	480 000,00
Quantité d'aliment distribuée en poids sec (kg/an)	432 000,00
Quantité d'azote total dans Aliment (kg/an)	10 800,00
Quantité d'azote total utilisé par les poissons (kg/an)	2 600,00
Quantité d'azote total excrété dans les rejets (kg/an)	8 200,00
Ammoniaque total (NH ₃ et NH ₄) (kg/an)	6 560,00
Phosphore total (kg/an)	10 800,00
Phosphore PO ₄ (kg/an)	6 048 ,00
MES dans rejets (kg/an)	141 600,00

Les quantités annuelles estimées des sels nutritifs peuvent provoquer une pollution algale importante, aussi l'accumulation de la matière en suspension à long terme affecte une dégradation du milieu benthique selon la capacité de dispersion du milieu récepteur [42, 54-55, 58, 63], pour le cas de la ferme ONDPA, l'endroit de versement des rejets est une petite plage de bas profondeur ce qui favorise une décantation rapide et accumulation de la matière organique dans une surface très petite d'environ 2000 m², cette zone est déjà devenue actuellement un plateau vaseux susceptible de s'agrandir avec le temps et plus rapidement dans le cas de doublement de la production. A cet effet, il est indispensable de renforcer le système de décantation de la ferme et de changer l'endroit de déversement périodiquement afin de permettre à l'écosystème de se régénérer , de dégrader et disperser les déchets.

V.4 Impacts des rejets et leur dispersion dans le milieu marin :

L'activité aquacole provoque des risques de pollution sur les milieux aquatiques récepteurs à cause de rejets d'élevage.

Parmi les divers facteurs de pollution, potentiellement présents dans ces rejets (bactéries, parasites, antibiotiques, gamètes, poissons...), les sels nutritifs contribuent au phénomène d'eutrophisation des milieux aquatiques naturels, c'est un problème décrit à l'échelle

mondiale. Le contrôle permanent de ces rejets de matières organiques et de sels nutritifs dans les milieux aquatiques naturels s'avère indispensable.

Les poissons rejettent des fèces comportant une quantité d'aliment dont une partie traverse la barrière intestinale telle que les bactéries du tube digestif (sous forme de matières particulaires) et des produits dissous (azote ammoniacal). L'autre partie ayant franchi la barrière intestinale, et qui a participé au métabolisme sont les composés azotés, phosphorés et carbonés (qui représentent la source de dégagement de l'ammoniaque), l'urée, l'azote ammoniacal, le phosphate et autres produits dissous dans l'eau.

Ce type de rejets peut contribuer à la pollution plus ou moins importante du milieu récepteur, dans le cas de ce projet, le renouvellement de l'eau est effectué actuellement 48 fois par jour donc les rejets dans l'environnement récepteur sont faiblement concentrés.

Sachant que la norme des rejets des eaux usés pour les MES est de 35 mg/l si la charge journalière est supérieure à 15 kg/j (normes de l'Union Européenne des rejets en mer), on considère donc qu'une concentration maximale de 5 mg/l avec une charge diluée par un grand débit d'eau, ne poserait pas de problèmes, sachant que la baie de Cap Djinet est ouverte et profonde et qu'il existe un brassage permanent des eaux, ces caractéristiques empêchent la sédimentation rapide et intensive des MES, néanmoins, la petite zone de déversement caractérisée par son plateau continental non profond est menacée par l'envasement. D'autre part, ces rejets pourraient constituer un apport alimentaire pour certaines espèces marines notamment les mollusques qui caractérisent la biodiversité de la faune marine au niveau de la zone d'étude.

Les rejets sont caractérisés par une extrême dilution des polluants dissous et particulaires et par une concentration en oxygène dissous généralement proche de la saturation beaucoup moins concentrés en matières en suspension [2, 10-14]

La quantité d'ammoniaque total (NH_3 , NH_4^+) estimée à atteindre 6000 kg/an pourrait participer à l'enrichissement de la baie par des sels nutritifs en plus des matières organiques biodégradables.

Cet excès de nutriments pourrait entraîner avec le temps, une multiplication du phytoplancton en surface et provoquer un déséquilibre aquatique avec l'apparition d'algues toxiques d'où une diminution du taux d'oxygène dissous et une augmentation de l'ammoniac toxique menaçant ainsi la vie aquatique surtout que la zone d'étude est située dans un parc national plein d'espèces à protéger.

L'impact de ces produits azotés et phosphorés est lié à la capacité du système à diluer les rejets journaliers.

Les normes générales des rejets de l'aquaculture ne doivent pas dépasser 1 mg/l d'ammonium (NH_4^+) et 0,3 mg/l d'ammoniac NH_3 en cours d'eau récepteur à 50 mètres en aval des rejets [58, 61-62].

Dans le cas de notre étude, les concentrations faibles en ammoniac obtenues dans les rejets pourraient confirmer que la qualité de ces derniers est admissible, et l'impact reste limité.

V.5 Impacts de gestion de l'élevage :

▪ Débit de l'eau

Le taux de renouvellement de l'eau, le choix et la gestion de l'alimentation ont un grand impact sur la quantité ainsi que sur la toxicité des rejets, et le rendement des systèmes de filtration et décantation [63-65].

L'utilisation d'un grand débit dans un système ouvert diminue la concentration des MES et de sels nutritifs rejetés en mer. Ce qui facilite leur dilution par les courants de mer.

▪ Aliment

La composition quantitative et qualitative de l'aliment distribué influe sur la nature des excréments du poisson.

L'augmentation de la densité énergétique des aliments (incorporation de lipides ou de glucides prétraités) entraîne une diminution de l'indice de conversion alimentaire et permet de réduire les pertes fécales [66].

Dans le cas de notre étude, l'aliment utilisé aurait un taux de conversion compris entre 1,5 et 1,6 ce qui conduirait à une grande consommation annuelle alors que l'utilisation d'un aliment peu cher et de taux de conversion inférieur à 1,5 minimiserait l'impact des rejets.

Une simulation pour le choix de l'aliment pour une production de 100 T/an, prévoit qu'une variation de 0,1 dans le taux de conversion entraînerait une augmentation dans l'alimentation de 10 000 kg/an. Le tableau ci-dessous présente une comparaison entre l'effet d'un aliment à des taux de conversion de 1,5 et de 1,4 sur une production de 100 T/an (relation de HAKANSON *et al.*[32]):

Tableau 7 : Impact de la qualité d'aliment sur les rejets annuels.

Paramètres	IC= 1,5	IC= 1,4	Ecart
Quantité d'aliment (kg/an)	150 000	140 000	10 000
MES (kg/an)	44 250	36 680	7 570
AZOTE Total excrété (kg/an)	2 563	2 338	225
Phosphore total (kg/an)	3 375	3 150	225

- **Rationnement**

Le mode d'alimentation peut également modifier le taux de conversion ainsi que la matière rejetée par l'élevage car la distribution d'un aliment en excès participe à la dégradation de la qualité des rejets.

Parfois les ouvriers chargés de l'alimentation ne respectent pas les taux d'alimentation journalier, même si ce n'est que quelques granulés par bassin, les résultats annuels seront très lourds et de même pour un distributeur non précis. Supposant que pour chaque bassin, il y a 10 g jetés en excès par repas, on a environ 1000 kg/an d'aliment supplémentaire,

A cet effet, la gestion et la ponctualité du rationnement s'avéreront indispensables non seulement pour l'économie, mais aussi pour la protection de l'environnement.

- **Traçabilité des alevins importés**

L'élevage à terre en circuit ouvert, va créer un lien permanent entre les deux écosystèmes naturel et artificiel, présentant ainsi un grand risque de transfert des maladies et parasites qui infecteront les espèces du milieu naturel.

De ce fait, l'absence d'un contrôle de qualité et de suivi de la traçabilité des alevins d'importation pourrait engendrer un risque de contamination pathologique.

L'historique des fermes marines en Europe et leur évaluation a fait apparaître le danger qui menace les poissons, surtout que certains virus ont un grand pouvoir de transmission comme le Nodavirus, très dangereux pour les poissons et résistant aux conditions divers de température et de salinité [67].

V.6 Impacts potentiels sur le milieu benthique :

La réalisation de la ferme ne sera pas considérée comme une source de contamination par les métaux lourds pour le milieu benthique car le promoteur n'utilisera pas de matériaux corrosifs, l'eau entrante et sortante est en contact avec de la résine (revêtement interne des bassins d'élevage), elle ne constituerait pas une dégradation pour le milieu [10, 12].

Le seul risque pourrait venir de la matière en suspension, la biodégradation des résidus par les bactéries du milieu benthique peut provoquer une production algale entraînant une grande consommation d'oxygène.

Ce phénomène s'il se produit, associé à la dégradation des macro-algues mortes du fond marin, pourrait être important, ce qui entraînerait une grande demande biologique en oxygène

(la régénération en oxygène est très faible) représentant ainsi un grand risque menaçant la vie benthique [12].

V.7 Impacts sur le plancton :

L'activité aquacole envisagée pourrait avoir un impact non négligeable sur ce plancton, à long terme. En effet, les éléments chimiques tels que l'azote ammoniacal, les nitrites et les phosphates peuvent, par accumulation dans les tissus organiques du plancton, affecter la chaîne alimentaire [62]. L'enrichissement du milieu par les sels nutritifs provoquerait l'apparition de certaines micro-algues toxiques qui menaceraient d'autres espèces [12, 62].

VI. Mesures d'atténuation et recommandations

VI.1 Gestion des rejets :

La minimisation des rejets particuliers issus du système d'élevage fait qu'aujourd'hui, ils sont moins étudiés que les rejets liquides. La raison principale en est que les normes sur les rejets de MES dans l'environnement ne contraignaient pas, jusqu'à présent, les éleveurs pratiquant leur élevage en circuit ouvert à se soucier de l'élimination des MES dans l'effluent.

L'utilisation des algues pour éliminer les substances dissoutes des effluents aquacoles a été expérimentée avec succès pour des élevages en circuit ouvert, notamment en polycultures où plusieurs espèces sont cultivées dans la même eau d'élevage [45, 64]

La technique de traitement par lagunage à haut rendement algal (LHRA), développée par Oswald [45] pour traiter les effluents domestiques, a été testée pour le traitement d'effluents piscicoles marins. Il a été montré que les ulvacées qui se développent toute l'année dans ce type d'effluent, réduisent les concentrations en azote inorganique dissous et en phosphate avec toutefois d'importantes fluctuations saisonnières [45].

Il a été aussi confirmé que :

- Le taux d'élimination de l'azote inorganique dissout varie de 30 à 88%, avec une moyenne annuelle de 59% ;
- Le taux d'élimination des phosphates varie de 0 à 82%, avec une moyenne annuelle de 56% ;
- Le pH et la concentration en oxygène dissous sont augmentés en sortie de LHRA pour atteindre un maximum de 9 et 15 mg.l-1 respectivement.

Afin d'assurer des eaux mieux oxygénés rejetés en mer, on propose la mise en place d'une cascade à la sortie du décanteur afin de régénérer l'oxygène dans les rejets.

Une étude financière sur la possibilité d'intégration d'une purification algale est très recommandée.

VI.2 Gestion de l'aliment et de l'alimentation :

Le choix d'un aliment se fait sur la base d'un taux de conversion minimal, ce qui diminue la fraction importante des composés polluants dans les rejets et protéger l'environnement. L'application de cette mesure accélère la croissance et diminue la quantité d'aliment consommée. Le respect des horaires et des quantités d'alimentation, le choix d'un matériel de pesée précis ou de distribution automatique, pour éviter le rejet de l'aliment en excès dans le milieu s'avèrerait nécessaire.

On peut aussi minimiser l'impact sur l'environnement par la diminution du taux de nourrissage journalier TNJ sans aucune incidence sur la croissance.

Des recherches faites par l'IFREMER [26] ont démontré qu'à partir de 90% de la satiété des poissons, la croissance reste presque constante, cette mesure peut non seulement diminuer la quantité d'aliment intégrée dans le milieu naturel en MES, mais aussi les fèces et la quantité d'ammoniaque et phosphore excrétée.

Le graphe ci-dessous présente cette relation entre la croissance et le taux d'alimentation journalier :

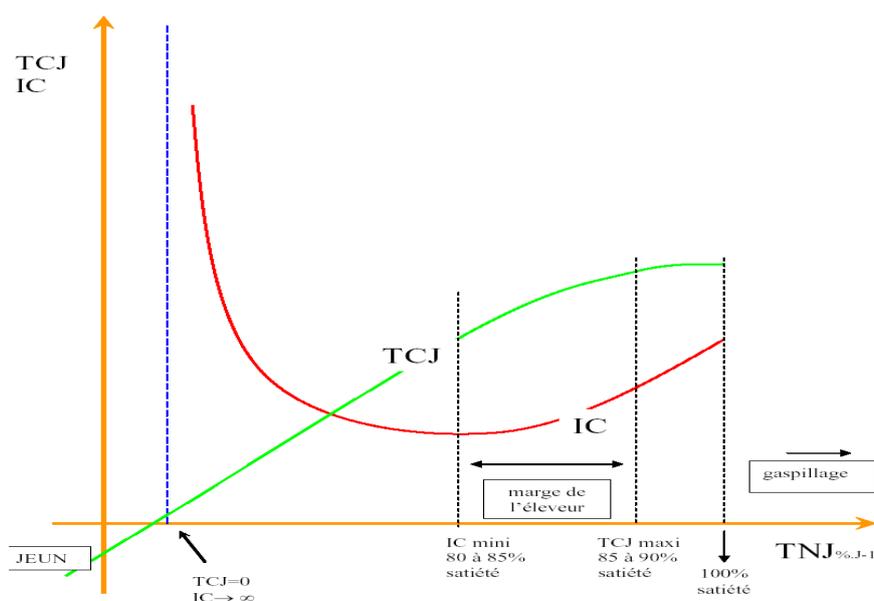


Figure 18 : Croissance journalière en fonction de taux de nourrissage (LEMARIE, [26])

En plus, la conservation du stock de l'aliment dans de bonnes conditions est importante car il doit être protégé de l'humidité et de tout contact avec l'eau pour éviter ainsi sa décomposition.

VI.8 Gestion des déchets et produits chimiques :

Les déchets biodégradables ne poseraient aucun problème sanitaire comme le papier et résidus dus à l'alimentation domestique qui pourraient être évacués vers les décharges publiques d'où un personnel chargé du tri est conseillé.

Par contre, les déchets des produits chimiques, les résidus de laboratoire et des opérations de soin, doivent être incinérés. Une convention avec un centre d'incinération est très recommandée et un protocole de conditionnement de ces déchets selon les normes de protection devrait être élaboré.

En plus, les résidus des regards des rejets et les boues des décanteurs doivent être traités, séchés dans un endroit éloigné de la ferme (des champs de séchage) pour éviter l'impact olfactif sur le voisinage. Après le séchage, ils doivent être analysés avant d'être utilisés comme engrais en agriculture [65, 68].

VI.9 Plan de suivi et d'échantillonnage de l'état environnemental :

Les études d'impact environnemental sont devenues une nécessité dans la réalisation des projets aquacoles. De ce fait, les études prévisionnelles d'impact environnemental sont un support préventif qui atténue les risques de pollution et facilite ainsi le suivi de l'état environnemental [2, 4].

L'estimation préliminaire des impacts environnementaux d'une ferme en bassins à terre de 150 tonnes en circuit ouvert n'apparaît pas sans risque pour le milieu récepteur notamment que cette ferme va doubler sa production. Le suivi permet la maîtrise des composantes du milieu et la prévention des maladies par le contrôle de la qualité de l'eau.

Cette étude d'évaluation a mis en évidence des impacts positifs et négatifs maîtrisables, les rejets de cette ferme sont la source principale des impacts potentiels sur l'environnement notamment le milieu marin ce qui nécessite un suivi continu de l'évolution de l'état environnemental.

▪ Suivi de l'élevage :

A fin de minimiser les risques de contamination du milieu naturel par le déversement de rejets infectés, Il serait judicieux que l'investisseur établisse un contrat avec un vétérinaire pathologiste spécialisé pour des consultations périodiques et le suivi de l'élevage du cheptel

afin qu'il assure le conseil d'hygiène, de sécurité et de prévention plus la surveillance progressive des médicaments à administrer en cas de maladies.

Ce vétérinaire établit des fiches de suivi transmises régulièrement au service vétérinaire de la direction de la pêche ou un contrôle des résultats doit être constaté ainsi qu'une expertise s'il y a lieu.

▪ **Suivi des effluents au niveau de la ferme**

Afin de permettre le suivi de la qualité du débit sortant de la ferme et de contrôler les concentrations entrée et sortie pour évaluer les rejets réels ainsi que le rendement des mesures d'atténuation, on propose ce qui suit :

Tableau 8 : Plan de suivi des effluents de la ferme marine

Paramètre	Point de contrôle	Conclusions désirées
PH Journalier	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Entrée ✓ Sortie de l'élevage ✓ Point de rejet à la mer 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Impact de l'élevage sur la variation du pH ?? ✓ Effet des systèmes de traitement sur la régulation du pH
Oxygène O₂ Journalier	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Entrée ✓ Sortie de l'élevage ✓ Point de rejet à la mer 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Oxygène consommé ✓ Effet de la cascade sur la régénération des rejets.
Matières en suspension MES Mensuelle	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Entrée ✓ Sortie de l'élevage ✓ Sortie de décanteur 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ MES produits par la ferme ✓ Rendement du décanteur ✓ Conformité des MES rejetés avec les normes
Ammonium NH₄⁺	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Entrée ✓ Sortie de l'élevage 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Azote produit par la ferme ✓ Rendement de la filtration ✓ Conformité des rejetés avec les normes <p style="text-align: center;">(Contrôle Mensuel)</p>
Nitrate NO₃⁻	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Sortie de système de filtration 	
Nitrite NO₂⁻		
Phosphore P		

Les analyses sont à la charge de l'investisseur, les résultats devront être envoyés régulièrement aux organismes concernés. Le CNRDPA prend en charge un suivi trimestriel dans le cadre du suivi des fermes marines.

▪ **Suivi de l'écosystème marin**

La mise en place d'un système de suivi et de surveillance saisonnier de la zone marine est indispensable afin de constater un éventuel changement de l'état initial, ce programme consiste à faire l'échantillonnage et l'analyse sur trois plans principaux :

Qualité de l'eau

- Suivi de la qualité de l'eau par les mesures physico-chimiques :
- Température, pH, Salinité et MES-
- Ammonium, Nitrite et Nitrate
- Phosphore
- polluants organiques

Sédiments

- Suivi de l'état de sédimentation
- Analyse des traces de métaux lourds dans le sédiment
- Etude de la qualité biologique du benthos

Biodiversité

Etude de la biodiversité au niveau de la faune et de la flore

Cette surveillance continue nous permet aussi d'évaluer l'impact réel de la ferme et l'évolution de l'effet des rejets dans le temps par l'exploitation des données concernant la zone ou la ferme est implantée.

Sachant que le programme de la surveillance est vaste sur le plan spatial avec des recherches bien approfondies, on propose une étude de la dispersion des rejets dans le milieu afin de bien délimiter le périmètre de responsabilité de la ferme sur toute éventuelle dégradation de l'état initial.

▪ Suivi de l'environnement terrestre

L'administration procède de faire dans le futur, des visites périodiques de contrôle au niveau des établissements aquacoles et leurs alentours afin d'inspecter l'état de propreté et juger du respect des réglementations et normes utilisées.

Dans ce cadre, un constat doit être établi comportant toutes les vérifications faites :

- Etat général de propreté au niveau de l'exploitation et de ses alentours ;
- Mise en place de poubelles et d'endroits pour regrouper les déchets par type (papier, verre, métaux,etc.)
- Organisation de nettoyage et d'évacuation des déchets
- Mise en place et bon fonctionnement de mesures d'atténuation pour minimiser les impacts.

En outre, il est recommandé des prélèvements par surprise afin de contrôler le respect des normes des rejets pour confirmer ainsi les résultats reçus de l'investisseur.

Ce contrôle assure la durabilité des mesures de protection de l'environnement, ce qui empêche ou limite toute dégradation provenant de l'établissement aquacole.

La signalisation ou la prévention précoce d'un problème facilite sa résolution par la collaboration de toutes les parties concernées à savoir scientifiques, administratives et investisseurs, notant que ce point est déjà présent dans les cahiers des charges des projets d'aquaculture.

Conclusion générale

Le présent travail a permis d'évaluer les concentrations des éléments nutritifs dans les rejets d'une ferme en bassins de loup et daurade à circuit ouvert d'une capacité de 150 Tonnes de production annuelle.

Ces éléments déversés en permanence dans le milieu marin peuvent provoquer une eutrophisation et dégradation du milieu benthique à long terme. Néanmoins, il a été constaté que le type et les teneurs des polluants produits par cette ferme sont moins importants par rapport aux activités industrielles qui rejettent des effluents plus toxiques et moins maîtrisables.

L'implantation de cette ferme et d'autres activités aquacoles au niveau national contribue efficacement à la sécurité alimentaire et à la création d'emplois, ce qui nous pousse à maximiser les points positifs de ce nouveau créneau, dont sa durabilité dépend essentiellement de la conservation de l'état environnemental récepteur de ses rejets.

Dans ce cadre, les études de suivi et de l'évaluation des impacts négatifs sont indispensables pour résoudre les éventuels problèmes et mettre en place des mesures d'atténuation.

Actuellement, Les impacts environnementaux négatifs des activités aquacoles en Algérie, notamment pour le cas de l'aquaculture marine, peuvent être considérés comme insignifiants à court et à moyen terme.

La capacité de l'écosystème marin est encore en mesure de diluer et de disperser les polluants, particulièrement dans le domaine de l'aquaculture marine qui est encore à l'état embryonnaire étant donné que le nombre des établissements impliqués dans la production est limité.

Toutefois, les études d'impacts et de perspective sont indispensables afin d'éviter les futurs scénarios indésirables dans le cas de développement de cette filière surtout en état de saturation.

En se basant sur des études réalisées par les chercheurs à l'étranger et menés par des organismes internationaux intéressés par l'environnement marin, il a été prouvé que les eaux issues de l'aquaculture sont recyclables, ainsi que la grande partie des particules dans les rejets sont les composants azotés et phosphorés qui sont considérés comme éléments nutritifs essentiels pour la photosynthèse. Les résultats de notre présent travail qui a touché une partie de ces particules ont été confirmés et compatibles avec les travaux cités ci-dessus.

L'abondance des sels nutritifs peut provoquer un déséquilibre dans l'écosystème marin qui conduira au changement de l'état initial, donc, outre la nécessité de mettre en place un plan de

suivi continu de l'état environnemental qui permet d'assurer un système d'alarme en cas d'un début de changement du milieu naturel, et l'obligation officielle de prendre en considération les mesures d'atténuation pour minimiser les polluants, il est très recommandé d'étendre les études et les recherches vers les exploitations des rejets de l'élevage marin. Les eaux issues de l'aquaculture pourront être réutilisées pour le grossissement des bivalves qui sont considérés comme filtres naturels de reste de l'aliment et de la matière en suspension, aussi, la production des macro-algues a besoin d'une grande quantité d'azote et de phosphore.

La recherche d'un système intégré de filtration et de recyclage en production, nous permet de protéger l'environnement et d'améliorer les aspects économiques de l'entreprise aquacole. La polyculture peut être une meilleure solution naturelle non coûteuse.

Références bibliographiques

1. FAO. 2012, La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture, *Rapport*.
2. FAO. 2008, Assessment and communication of environmental risks in coastal aquaculture. *Document GESAMP, Rome*.
3. M. ROLAND COURTEAU. 2000, la pollution de la méditerranée : état et perspectives a l'horizon 2030. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, *Rapport de SENA de France*.
4. JOURNAL OFFICIAL ALGERIEN. La loi 83-03 1983 relative à la protection de l'environnement, le décret exécutif N° 98-939 relatif à l'autorisation pour activité aquacole, la loi N° 2002-02 relative à la protection du littoral et la loi N° 2003-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
5. FAO. 2010, Vue générale du secteur aquacole national en Algérie, *Rapport*.
6. A. CHALABI. 2008, l'aquaculture en Algérie et son contexte maghrébin, *Rapport de document SIPAM FAO*.
7. FAO-SIPAM. 2013, Report of the third sub-regional workshop on aquaculture in the North African, *December (8-10) - Tipaza, Algeria*.
8. FAO-SIPAM. 2012, Report of the 13th session of the information system for the promotion of aquaculture in the Mediterranean. *Salerno, Italy, 1-3 February*.
9. UICN. 2007, Interactions entre l'aquaculture et l'environnement, Guide pour le développement durable de l'aquaculture méditerranéenne, *Malaga, Espagne. VI + 110 p*.
10. T. PASCAL et K. VIOLAINE. 2004, Impacts des étangs a gestion piscicole sur l'environnement, *Etude de synthèse bibliographique, SMIDAP (syndicat mixte pour développement de l'aquaculture et de la pêche en pays de la Loire)*.
11. M. KUYPERS. 2009, Impacts de l'aquaculture de saumon sur l'environnement et analyse des politiques de gestion. *Mémoire de Fin d'Etudes, Master en Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Libre de Bruxelles*.
12. G. OUELLET. 1999, Les rejets des stations piscicoles et leurs impacts environnementaux. document de travail: Direction générale des pêches et de l'aquaculture - *Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation – Québec*.

13. OSPAR. 2004, Quantification and reporting of nitrogen and phosphorus discharges/losses from aquaculture plants. Guideline 2: *OSPAR 00/9/2 Add.2 and OSPAR 00/20/1 (2004) (Convention for the protection of the marine environment of the north-east Atlantic)*.
14. C. GARIDOU. 1994, Quantification des rejets d'une ferme piscicole de loup (*Dicentrarchus labrax*). *Mémoire de fin d'étude, GIE Recherche Aquacole, Station IFREMER*.
15. La 9^e édition du Dictionnaire de l'Académie française, 1992.
16. M. ALLSOPP, P. JOHNSTON et D. SANTILLO. 2008, Vers une aquaculture durable. *laboratoires de recherche de Greenpeace, Université d'Exeter*.
17. K. ISHIKAWA. 1984, La gestion de la qualité: outils et applications pratiques. *DUNOD / Asian Productivity Organization*
18. J. PETIT. 1991, L'aquaculture : un problème pour l'environnement ?. *Laboratoire de Physiologie et Ecologie des Poissons, INRA, prod, anim, 1991, 4(1), 67-80*.
19. G. LEMARIE, J. MARTIN, G. DUTTO, C. GARIDOU. 1998, Nitrogenous and phosphorous waste production in a flow-through land-based farm of European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquatic Living Resources, 11(4), 247-254*.
20. G. TÜRKMEN and O. KARADAL. 2012, The suggestion of integrated trout-crayfish culture in turkey. *J. Black Sea/Mediterranean Environment Vol. 18, No. 3: 400-413*.
21. R. LAZZARI and B. BALDISSEROTTO. 2008, Nitrogen and phosphorus waste in fish farming, *B. Inst. Pesca, São Paulo, 34(4): 591 - 600*.
22. KAUSHIK. 1993, Digestibility of feedstuffs as a major factor in aquaculture waste management, Fish nutrition in practice, *Les Colloques n.61, INRA ed., Versailles Cedex, France, 365-374*.
23. D. MARCOTTE. 2007, Evaluation et optimisation des performances des technologies de traitement des rejets piscicoles. *document de transfert de technologie No 2007.2, société de recherche et de développement en aquaculture continentale (SORDAC) INC, QUÉBEC*.
24. E. STEVEN, YEO, P. FREDERIC and E. JOSEPH. 2004, Aquaculture effluents and wasteby-products: characteristics, potential recovery and beneficial reuse. *Sea Grant University of Wisconsin U.S.A, department of agriculture, Federal grant N°: NA16RG2257, Project C/C-1-*

25. G. BARNABE. 1986, L'élevage du loup et de la daurade, p. 627-666. In: *Aquaculture. Vol. .* G. BARNABE and Y. S ILBARD. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris. 1123 p.
26. G. LEMARIE, H. TOFTEN. 2002, Water quality, feed intake and growth in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) in relation to water renewal rate. *Programme konferanse havbruk og villaks, Norwegian Research Council, September 16-18 2002, Tromso, Norway.*
27. G. LEMARIE, D. COVES, G. DUTTO, E. GASSET, J. LE RUYET. 1996, Chronic toxicity of ammonia for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Applied environmental physiology of fishes symposium, International congress on the biology of fishes, July 14-18, San Francisco, USA.*
28. A. DOSDAT, J. PERSON, D. COVES, G. DUTTO, E. GASSET, A. LE ROUX, G. LEMARIE. 2003, Effect of chronic exposure to ammonia on growth, food utilization and metabolism of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquatic Living Resources, 16(6), 509-520.*
29. G.P. HAYWOOD. 1983, Ammonia toxicity in teleost fish: a review: can tech. Rep. Fish. Aquat. Sci, 1177 : 1-35.
30. J. BLANCHETON, A. DOSDAT, J. DESLOUS PAOLI. 2004, Minimisation des rejets biologiques issus d'élevage de poissons. *Aquaculture et environnement, Dossier de l'environnement de l'INRA n°26, p 68-79.*
31. G. LEMARIE, E. GASSET, D. CAM, E. DE LA FONCHAIS. 1992, Modélisation de la consommation en oxygène du loup (*Dicentrarchus labrax*) et de la daurade (*Sparus aurata*). *Ichthyophysiologicala. Acta, 15 : 55-68.*
32. L. HAKANSON, A. ERVIK, T. MAKINEN and B. MOLLER. 1988, Basic concept concerning assessments of environmental effects of marine fish farms. *Rapp. Nordic Council of Ministers, 103 P.*
33. O. GUERIN-ANCEY. 1979, Etude expérimentale de l'excrétion azotée du bar (*Dicentrarchus labrax*) en cours de la croissance. *Aquaculture, 9.*
34. S. J. KAUSHIK. 1980, Influence of nutritional status on the daily patterns of nitrogen excretion in the Carp (*Cyprinus Carpio L*) and the rainbow trout (*Salmo gairidueri R*). *Report. Nutr. Develop. 20 (6), 1751-1765.*
35. D. MARCOTTE. 2008, Évaluation de la proportion du phosphore récupéré par l'enlèvement des boues des étangs d'élevage. *Document de transfert de technologie No 2008.1, société de recherche et de développement en aquaculture continentale (SORDAC) INC, QUÉBEC.*

36. A. DOSDAT. 1992, L'excrétion chez les poissons téléostéens. II : Le phosphore. *Pisc. Fr.* 109, 18-229.
37. P.B. LIAO and R.D. MAYO. 1974, Intensified fish culture combining water reconditioning with pollution abatement. *Aquaculture*, 3, 61-85.
38. A. FAURE. 1983, Evaluation de la pollution rejetée par les salmonicultures intensives. *CEMAGREF, Bordeaux, étude n° 16, Vol I, 71 p.*
39. A. FAURE. 1984, Evaluation de la pollution rejetée par les salmonicultures intensives. *CEMAGREF, Bordeaux, étude n° 19, Vol II, 90 p.*
40. B. ELKEBROKK and Y. ULGENES. 1993, Characterization of treated and untreated effluents from land-based fish farm. *Fish farming technology*, 361-365.
41. S.J. KAUSHIK. 1990, Nutrition et alimentation des poissons et contrôle des déchets piscicoles. *Pisc. Fr.* 101. 14-23.
42. H. ACKEFORS and M. ENELL. 1990, Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas. *Ambio*, 19, 28-35.
43. E. ALLIOT., A. FEBVRE., R. METAILLER., A. PASTOUREAUD. 1973, Besoins nutritifs du bar (*Dicentrarchus labrax*) étude du taux de protéine et du taux de lipide dans le régime. *Colloque sur l'Aquaculture. 22-24 October 1973, Brest (France)*.
44. P. PICHOT, M.C. XIMENES, J. M.DESLOUS-PAOLI et C. JUGE. 1994, Bilan de l'azote et du phosphore dans le système lagune-bassin versant de Thau. *Rapport CEMAGREF-IFREMER, R INT. DEL/94.11/SETE*.
45. G. DEVILLER. 2003, Traitement par lagunage a haut rendement algal (LHRA) des effluents piscicoles marins recyclés : évaluation chimique et ecotoxicologique. *Thèse de doctorat, Université Montpellier I*.
46. R. TANGUY et L. LE GREL. 1989, Projet d'élevage du loup en mer : étude technico-économique du pré-grossissement et du grossissement. *Rapports internes de la Direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER, DRV-89.021-RA/SDA PALAVAS*.
47. M. HAMDI et M. SI BACHIR. 2011, Contribution a l'élevage de la daurade « *Sparus aurata* » en eau réchauffée : Cas de la ferme ONDPA Cap Djinet (wilaya de Boumerdes), *mémoire de fin d'étude, ENSSMAL Alger*.
48. MEDRAP. 1986, Techniques d'élevage intensif et d'alimentation de poissons et de crustacés. *Rapport de session du projet régional méditerranéen de développement de l'aquaculture ITALIE*.

49. H. HELLIN. (archive), Elevage intensif du loup (*Dicentrarchus labrax*) et de la daurade (*Sparus aurata*) en raceways aspects biologiques et technologiques du grossissement. *document FAO* : www.fao.org.
50. H. KARA et L. CHAOUI. 1998, Croissance du loup (*Dicentrarchus labrax*) Dans la lagune du mellah (Algérie). *Université d'Annaba Département de Biologie Marine, Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 35.
51. N. OUNAI-GUSCHEMANN. 1989, Définition d'un modèle d'élevage larvaire intensif pour la daurade *Sparus auratus*. *Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille II Centre d'océanologie de Marseille*.
52. A. AMINOT et M. CHAUSSEPIED. 1983 Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *CNEXO, Brest, 395 p.*
53. J. BLANCHETON, R. PIEDRAHITA, A. BELAUD, Y. MOUTOUNET, S. FIVELSTAD, G. LEMARIE. 2007, Importance des gaz en aquaculture, aspects physiologiques et techniques : gaz totaux et oxygène. *Journées du SFAM, 15-16 mars 2007, Montpellier, France*.
54. J. MUGG. 2003, Aquaculture effluents: a guide for water quality regulators and aquaculturists. *University of Massachusetts Dartmouth, Sea Grant, NRAC Publication No. 00-003*.
55. CCDME (conseil canadien des ministres de l'environnement). 2010, Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux: protection de la vie aquatique, Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement. *Gouvernement de CANADA*.
56. LEPOT, M. MATHIEU, B. KRAJEWSKI et JEAN-LUC. 2010, Mesure des flux polluants en MES et DCO en réseau d'assainissement. *Laboratoire de génie civil et d'ingénierie environnementale, Séminaire doctorants, Valgrisenche, Italie*.
57. GOUVERNEMENT DE CANADA. 2004, Ligne directrice sur le rejet de l'ammoniac dissous dans l'eau se trouvant dans les effluents d'eaux usées. *Canada Gazette, Vol. 138, No. 49*.
58. GOUVERNEMENT OF INDIA. 2005, Guidelines for regulating coastal aquaculture. *Coastal Aquaculture Authority, INDIA, <http://www.caa.gov.in>*.
59. NORMES EUROPEENNES DE REJETS. 2014, <http://www.recycleau.fr/fr/reglementation-et-les-normes-europeennes>.
60. D. MARCOTTE. 2010, Nouveau concept d'étang d'élevage avec réutilisation de l'eau et enlèvement régulier des boues. *Document de transfert de technologie No 2010.3, société de recherche et de développement en aquaculture continentale (SORDAC) INC, QUÉBEC*.

61. GOUVERNEMENT OF INDIA. 2014, Standards for treatment of wastewater discharged from the aquaculture farms, hatcheries, feed mills and processing units. *Coastal Aquaculture Authority, INDIA*, <http://www.caa.gov.in>.
62. P. JATTEAU, J. PETIT et J. DURET. 1994, Impact de l'aquaculture sur l'environnement prévention et contrôle. *Aquaculture et Environnement - éditions de l'Ifremer*. p 69-86.
63. M. BEN DAG. 1995, Systèmes de production du loup et de la daurade : élevage intensif en bassins en Tunisie. *CIHEAM, 1995*. p. 97-112 (*Cahiers Options Méditerranéennes; n.14*), Zaragoza.
64. L. FARGIER. 2007, Régulation de l'excrétion azotée au sein du système aquacole a recyclage intégral SARI. *Rapport de stage de Mastère II, Département de Bio-ressources Aquatiques en Environnement Méditerranéen et Tropical, Université de Montpellier II*.
65. DIONNE. 2012, Conception d'une nouvelle génération d'étang d'élevage permettant la récupération rapide des rejets des poissons. *Document de transfert de technologie N° 2012.1, société de recherche et de développement en aquaculture continentale (SORDAC), QUÉBEC*.
66. C Y. CHO and D P. BUREAU. 2001, A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. *Aquaculture Research*, 2001, 32 (suppl.1), 349-360.
67. E. ROQUE D'ORBCASTEL, G. LEMARIE, G. BREUIL, T. PETOCHI, G. MARINO, S. TRIPLET, G. DUTTO, S. FIVELSTA, J. COEURDACIER, J. BLANCHETON. 2010, Effects of rearing density on sea bass (*Dicentrarchus labrax*) biological performance, blood parameters and disease resistance in a flow through system. *Aquatic Living Resources*, 23(1), 109-117.
68. C. JUDITH, M. DOMINIC et C. 2011, ROBERT. Épaississement par filtration des eaux usées des systèmes de traitement des eaux piscicoles. *Document de transfert de technologie N° 2011.1, société de recherche et de développement en aquaculture continentale (SORDAC), QUÉBEC*.

ANNEXE 1**Tableau 9 : Pourcentage de NH₃ non ionisé en solution aqueuse en fonction de la température et du pH (Emerson et coll., 1975)**

Temp. (°C)	pH								
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10
0	0,008	0,026	0,082	0,261	0,820	2,55	7,64	20,7	45,3
5	0,012	0,039	0,125	0,394	1,23	3,80	11,1	28,3	55,6
10	0,018	0,058	0,186	0,586	1,83	5,56	15,7	37,1	65,1
15	0,027	0,086	0,273	0,859	2,67	7,97	21,5	46,4	73,3
20	0,039	0,125	0,396	1,24	3,82	11,2	28,4	55,7	79,9
25	0,056	0,180	0,566	1,77	5,38	15,3	36,3	64,3	85,1
30	0,080	0,254	0,799	2,48	7,46	20,3	44,6	71,8	89,0

ANNEXE 2**(Fiche descriptive des espèces élevées)****Le Loup**

LOUP <i>(Dicentrarchus Labrax)</i>		
Classification	Classe	Acanthoptérygiens
	Ordre	Perciformes
	Famille	Serranidae
	Genre	Dicentrarchus
	Espèce	Labrax
Milieu de vie	Biotope	Eau douce, zone côtière marine et saumâtre Zones rocailleuses
Biologie	Reproduction	Octobre- Mars avec un pic en Janvier
		Gonochorique
	Taille moyenne	20 à 70cm
	Comportement	Grégaire
Ecologie		Eurytherme : 2 à 25°C Eryhalin : 0,5 à 40‰ O ₂ létale 2mg

La daurade

Daurade <i>(Sparus aurata)</i>		
Classification	Classe	Acanthoptérygiens
	Ordre	Perciformes
	Famille	Sparidae
	Genre	Sparus
	Espèce	Aurata
Milieu de vie	Biotope	Zones côtières 30m de profondeur, zone sableuse de delta de rivière, lagune
biologie	Reproduction	Octobre –Décembre
		Hermaphrodite protérandrique
	Taille moyenne	20 à 50cm
	Comportement	Solitaire ou en groupe
Ecologie		Très sensible au froid Température létale 5°c O2 létale 3mg

ANNEXE 3**REACTIFS****Tableau 10: Réactifs nécessaires pour le dosage du phosphore**

Solutions	Réactifs nécessaires	Préparation	Remarques
Réactif 1 : Solution de molybdate d'ammonium	Para molybdate d'ammonium	Dissoudre 15g de Molybdate d'ammonium (NH ₄ M ₆ O ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O) de préférence en poudre fine, dans 500ml d'eau distillée ou déminéralisée.	A conserver dans les flacons en plastique et à l'abri de la lumière. Cette solution est stable indéfiniment.
Réactif 2 : 2.5 mol/l (H ₂ SO ₄) Acide sulfurique	Acide sulfurique densité= 1.84	Ajouter petit à petit, avec précaution 140ml d'acide sulfurique dans 900ml d'eau distillée. Laisser refroidir.	Conserver hermétiquement dans des bouteilles en verre.
Réactif 3 : Solution d'acide ascorbique	Acide ascorbique	Dissoudre 50g d'acide ascorbique (C ₆ H ₈ O ₆) dans 500ml d'eau distillée.	Cette solution se conserve plusieurs mois au congélateur, dégeler juste avant utilisation.
Réactif 4 : Solution d'oxytatrate de potassium et d'antimoine	Oxytatre de potassium et d'antimoine	Dissoudre 0.34g d'oxytatrate de potassium dans 250ml d'eau distillée en chauffant si nécessaire.	Cette solution se conserve plusieurs mois au réfrigérateur.

Tableau 11 : Réactifs nécessaires pour le dosage de l'azote ammoniacal

Solutions	Réactifs nécessaires	Préparation	Remarques
Réactif 1 (1 litre) : Solution de Phénol-Nitroprussiate	-Eau distillée -35g de Phénol -400mg de Nitroprussiate de sodium	Dissoudre les deux produits dans 1000ml d'eau et le conserver au réfrigérateur à l'abri de la lumière, et laisser stabiliser pendant quelques semaines.	Il doit être renouvelé s'il prend une teinte verdâtre.
Réactif 2 (1litre) : Solution d'alcaline d'hypochlorite	1) 280g de Citrate trisodique (NA3 C6 H5 O7) 2) 22g de soude 3) Solution d'hypochlorite de sodium correspondant à 1.4g de chlore soit 44ml d'une solution à 10° de chlore.	Dissoudre les produits 1, 2 dans 800ml d'eau distillée, ajouter un volume de solution d'hypochlorite de sodium correspondant à 1.4g de Cl ou C3-Cl2 Dichlorisocianurate de potassium.	Ce réactif se conserve au froid pendant 1 à 2 mois.

Tableau 12: Réactifs nécessaire pour le dosage des nitrates

Solutions	Réactifs nécessaires	Préparation	Remarques
Réactif 1	Même solution utilisée pour le dosage des nitrites		
Réactif 2	Même solution utilisée pour le dosage des nitrites		
Solution concentrée de chlorure d'ammonium	250g de chlorure d'ammonium	Préparer une solution pour 1 litre d'eau distillée	/
Solution diluée de chlorure d'ammonium	Solution concentrée	Diluer 40 fois (25ml pour 1 litre)	/
Solution de sulfate de cuivre	10g de sulfate de cuivre	Dans 500ml d'eau distillée, dissoudre 10g.	/

Tableau 13 : Réactifs nécessaires pour le dosage des nitrites

Solutions	Réactifs nécessaires	Préparation	Remarques
Réactif 1 (500ml) : Solution de sulfanilamide	-5g de sulfanilamide -50ml d'acide chlorhydrique concentré d= 1.18	Diluer 50ml d'acide chlorhydrique concentré dans environ 300ml d'eau distillée et dissoudre 5g de sulfanilamide dans cette solution et compléter à 500ml.	Cette solution est stable indéfiniment.
Réactif 2 (500ml) : Solution de N-Naphtyléthylénediamine	-0.5g de dichlorhydrate de N-Naphtyléthylénediamine	Dissoudre 0.5g dans 500ml d'eau distillée.	Conserver cette solution au froid et à l'abri de la lumière.

ANNEXE 4

EXPRESSION DES RESULTATS

▪ **Expression des résultats du phosphore**

La concentration du phosphore est obtenue à partir de la courbe d'étalonnage en appliquant l'équation suivante :

$$\text{Abs} = a (C) + b$$

Dont : Abs : absorbance affichée par le spectrophotomètre

$$a = 0,0357 ; \quad b = 0,0002 ; \quad R^2 = 0,9894 ;$$

▪ **Expression des résultats de l'azote ammoniacal**

La valeur de l'absorbance est reportée sur la courbe d'étalonnage pour en déduire la concentration en azote ammoniacal de l'échantillon. L'équation de la droite est la suivante :

$$\text{Abs} = a (C) + b$$

Dont : Abs : absorbance affichée par le spectrophotomètre UV/Vis

C : la concentration de l'azote ammoniacal en mg/l

$$a = 1,101 ; \quad b = 0,0014 ; \quad R^2 = 0,9974.$$

▪ **Expression des résultats des nitrates**

La valeur de l'absorbance des nitrates de l'échantillon est obtenue par la différence entre les absorbances des nitrites totaux et des nitrites seuls.

La valeur de la concentration des nitrates est obtenue à partir de la courbe d'étalonnage en utilisant l'équation suivante :

$$\text{Abs} = a (C) + b$$

Dont : Abs : absorbance affichée par le spectrophotomètre

$$a = 1,043 ; \quad b = 0,0041 ; \quad R^2 = 0,9962.$$

ANNEXE 5**Tableau 14: Tableau récapitulatif des données du suivi**

	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
T°C	24	28	29	27	24	22	18	18	19	20	21	23
O2% entrée (mg/l) 04:00	6,9	6,9	6,5	6,9	7	7,5	7,5	7,5	7,5	7,2	7	7
O2% entrée (mg/l) 10:00 (oxygénation)	11	11	11	10	9	9	9	9	9	10	10	10
O2% sortie (mg/l)	4,8	4,5	4,5	5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5	4,9	4,5
NH4+ entrée (mg/l)	0,007	0,0049	0,005	0,011	0,014	0,015	0,015	0,02	0,027	0,034	0,035	0,009
NH4+ sortie (mg/l)	0,0281	0,0429	0,0705	0,0793	0,1047	0,0422	0,0331	0,0396	0,0513	0,0642	0,0728	0,0638
NO3- entrée (mg/l)	0,062	0,33	0,51	0,39	0,11	0,037	0,033	0,031	0,11	0,15	0,06	0,083
NO3- sortie (mg/l)	0,062	0,331	0,512	0,391	0,11	0,037	0,0334	0,032	0,11	0,151	0,061	0,084
NO2- entrée (mg/l)	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
NO2- sortie (mg/l)	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
PO4-3 entrée (mg/l)	0,0001	0,0003	0,0004	0,0007	0,002	0,0043	0,0043	0,005	0,0045	0,0001	0,0002	0,0002
PO4-3sortie (mg/l)	0,0253	0,0458	0,0788	0,0824	0,1105	0,0368	0,026	0,0285	0,0335	0,0362	0,0455	0,0658
MES entré (mg/l)	0,31	0,35	0,28	0,3	0,36	0,38	0,33	0,28	0,25	0,26	0,25	0,29
MES sortie (mg/l)	0,6445	0,9544	1,3203	1,3846	1,8005	0,812	0,6177	0,5915	0,6353	0,7397	0,8511	1,1606
Pmi initial (g)	5	12,1	25,2	47,9	72,1	104,6	135,4	156,8	180,3	209,5	246,1	292,1
Pmi final (g)	12,1	25,2	47,9	72,1	104,6	135,4	156,8	180,3	209,5	246,1	292,1	358,8
TCJ	3	2,46	2,17	1,37	1,25	0,87	0,49	0,47	0,5	0,54	0,57	0,69
Biomasse Initiale (kg)	2339,8	5622,6	11554	21764,3	32409,1	46546,9	59668,3	68406,3	77867,3	89570,2	104139,2	122395,5
Biomasse Finale (kg)	5622,6	11554	21764,3	32409,1	46546,9	59668,3	68406,3	77867,3	89570,2	104139,2	122395,5	148836,8
IC %	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
TNJ %	4,5	3,7	3,25	2,06	1,87	1,3	0,74	0,7	0,75	0,81	0,86	1,03
Quantité Aliment max (kg/jour)	253	427,1	707,6	666	871,3	774,2	503	544,7	673,8	839,3	1053	1535,6

ANNEXES

Quantité Aliment min (kg/jour)	105,3	207,8	375,6	447,3	606,7	604	438,8	478,6	585,7	721,9	896	1262,8
Quantité d'Aliment moy distribuée (kg/mois)	4924	8897	15315	15967	21207	19682	13107	14192	17554	21853	27384	39662
Voume d'élevage (m3)	3800	3800	3800	3800	3800	11760	11760	11760	11760	11760	11760	11760
Charge appliquée (kg/m3)	1,48	3,04	5,73	8,53	12,25	5,07	5,82	6,62	7,62	8,86	10,41	12,66
Gin en poisson Vif (kg)	3282,8	5931,4	10210,3	10644,8	14137,8	13121,4	8738	9461	11702,9	14569	18256,3	26441,3
Gin poids sec kg	820,7	1482,85	2552,575	2661,2	3534,45	3280,35	2184,5	2365,25	2925,725	3642,25	4564,075	6610,325
aliment poids sec Kg	4431,6	8007,3	13783,5	14370,3	19086,3	17713,8	11796,3	12772,8	15798,6	19667,7	24645,6	35695,8
Azote consommé kg	102,48	185,17	318,74	332,31	441,37	409,63	272,79	295,37	365,34	454,82	569,93	825,47
Azote Cconverti kg	26,67	48,19	82,96	86,49	114,87	106,61	71	76,87	95,09	118,37	148,33	214,84
Azote Total rejeté kg/mois	75,81	136,98	235,78	245,82	326,5	303,02	201,79	218,5	270,26	336,44	421,6	610,63
Azote ammoniacal rejeté kg/mois	60,65	109,58	188,63	196,66	261,2	242,42	161,43	174,8	216,21	269,15	337,28	488,5
A A T (g/h)	84,23	152,2	261,98	273,14	362,78	336,69	224,21	242,78	300,29	373,82	468,44	678,48
AAT mg/l	0,02	0,04	0,07	0,07	0,1	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06
NH4+ rejeté (mg/l)	0,02	0,04	0,07	0,07	0,09	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Ptptal rejeté mg/l	0,045	0,0813	0,1399	0,1459	0,1938	0,0581	0,0387	0,0419	0,0518	0,0645	0,0809	0,1171
PO4-3 rejeté (mg/l)	0,0252	0,0455	0,0784	0,0817	0,1085	0,0325	0,0217	0,0235	0,029	0,0361	0,0453	0,0656
MES rejeté (mg/l)	0,334	0,604	1,04	1,085	1,441	0,432	0,288	0,312	0,385	0,48	0,601	0,871
NH4+ rejrtée (kg/jour)	1,92	3,47	5,97	6,23	8,27	7,68	5,11	5,54	6,85	8,52	10,68	15,47
PO4-3 rejeté (kg/jour)	2,3	4,15	7,15	7,45	9,9	9,18	6,12	6,62	8,19	10,2	12,78	18,51
MES rejeté (kg/jour)	30,5	55,12	94,88	98,92	131,38	121,93	81,2	87,92	108,75	135,38	169,64	245,71
NH4+ g/kg de poisson/jour	0,34	0,3	0,27	0,19	0,18	0,13	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,1
PO4-3 rejeté g/kg de poisson/jour	0,41	0,36	0,33	0,23	0,21	0,15	0,09	0,09	0,09	0,1	0,1	0,12
MES rejeté g/kg de poisson/jour	5,43	4,77	4,36	3,05	2,82	2,04	1,19	1,13	1,21	1,3	1,39	1,65