

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE VETERINAIRE – ALGER

المدرسة الوطنية العليا للبيطرة – الجزائر

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLOME DE DOCTEUR VETERINAIRE

TRAITEMENT DES EAUX D'AQUACULTURE PAR OZONATION

Présenté par: -Brahmi Nedjla

- Sifaoui Nassima

Soutenu le: 30/06/2009

Le jury:

- **President: Dr. Bendedouche B. (Maître de conférences A)**
- **Promoteur: Dr. Amiali M. (Maître de conférences B)**
- **Examinatrice: Dr. Azzag N. (Maître assistante A)**
- **Examineur: Dr Hamdi M. T. (Maître de conférences A)**

Année universitaire : 2008/2009

REMERCIEMENTS

Louange à dieu, qui grâce à lui nous sommes parvenues à terminer ce projet de fin d'étude.

Nous remercions:

Dr. **AMIALI** pour son soutien permanent, ses conseils judicieux, sa disponibilité et surtout sa patience qui nous ont permis aussi de réaliser ce travail.

Dr. **BENDEDOUCHE** qui nous a fait l'honneur de présider ce jury.

Dr. **AZZAG** et Dr. **HAMDI** qui ont accepté d'examiner notre travail.

Notre gratitude va également à l'ensemble de nos professeurs qui nous ont transmis l'amour de ce métier, leur savoir et leur expérience tout au long de notre parcours à l'ENSV.

Nous remercions également toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail ainsi que nos familles qui nous ont soutenues tout au long de notre cursus universitaire.

MERCI

DEDICACES

À ma mère Rachida, à mon père Amar.

À mes sœurs, Nassima, Amira et Chanez.

À mes amis: Tassadit et Halim.

À toute ma famille.

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

À tous ceux qui m'ont soutenue,

À mes collègues de l'ENSV,

Je dédie ce travail.

Nedjsa

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à

Mes parents, pour les remercier de leur soutien et leur confiance en moi.

À mes frères et sœurs, Sabeĥa, Rachide et Khafida

À celui qui m'a permis de réaliser mon rêve : Sayah Mohamed

À mon modèle durant toutes ces années : Haffar Athman

*À l'ensemble de ma famille en particulier mes grand parents : Fouzia et
Smail, mes oncles Redouane et Salim, sans oublier Isma.*

*À tout mes amis spécialement mon groupe de clinique avec qui j'ai
passé mes plus agréables moments.*

Nassima.

DICTIONNAIRE

- **Alevins:** petits ou larves des poissons
- **Chimiluminescence:** Elle repose sur le principe de coloration du milieu suite à une réaction entre une solution absorbante et le gaz à étudier. Plus la coloration est intense et plus la concentration du gaz à étudier est importante dans l'échantillon.
- **Colorimétrie UV d'indigo:** Technique de mesure de l'ozone par spectrophotométrie.
- **Elevage extensif:** permet la production d'animaux dans de vastes environnements, pouvant aller jusqu'à l'échelle d'un océan.
- **Elevage intensif:** Permet la production d'animaux sur de petites surfaces, étang, enclos, bassins, etc. mais avec des rendements élevés.
- **Elevage semi-extensif ou Elevage semi-intensif:** intermédiaire avec des surfaces de production de quelques hectares, où l'alimentation est possible mais discontinue ou même absente.
- **Estuaire:** partie terminale d'un fleuve, de forme évasée et où la mer remonte. C'est une zone de mélange entre eau douce et eau marine.
- **Eutrophisé:** modification et dégradation d'un milieu aquatique, lié en général à un apport exagéré de substances nutritives.
- **La décantation:** c'est une opération de séparation mécanique, par différence de gravité de phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide. On peut séparer des phases liquides, une phase solide en suspension dans une phase liquide.
- **Les bio-filtres:** ils permettent selon leur configuration d'éliminer la pollution carbonée et/ou azotée par Nitrification-Dénitrification.
- **Omnivore:** organismes se nourrissant de plantes et d'animaux.
- **Phytoplanctophage:** Animaux se nourrissant de phytoplanctons
- **Poecilotherme:** se dit des animaux dont la température corporelle varie avec celle du milieu ambiant.
- **Saumâtre:** Eau dont la teneur en sels est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer.
- **SRA:** Technique d'élevage aquacole intensif consistant en la recirculation de l'eau des bassins après une série de traitement.
- **Suspensivore:** Animaux qui se nourrissent de planctons en suspension.

LISTE DES ABBREVIATIONS ET ACRONYMES

- **%**: pour cent
- **°C**: Degré Celsius.
- **‰**: pour mille
- **Å**: Angström.
- **ADN**: Acide désoxyribonucléique.
- **Al**: Aluminium.
- **C.A**: Charbon activé.
- **Ca**: Calcium.
- **Fe³⁺**: Fer.
- **h**: Heure.
- **Kcal**: Kilocalorie.
- **Kg**: Kilogramme.
- **kW**: Kilowatt
- **L**: Litre.
- **M³**: Mètre cube.
- **mg**: Milligramme.
- **Mg²⁺**: Magnésium.
- **mm**: Millimètre.
- **mn**: Minutes.
- **NH₃**: Ammoniac.
- **NH₄**: Ammonium.
- **nm**: Nanomètre.
- **O₂**: Oxygène.
- **O₃**: Ozone.
- **OH⁻** Hydroxyle.
- **pH**: Potentiel hydrogène.
- **ppm**: Particule par million.
- **SRA**: Système de recirculation en aquaculture.
- **T**: Température.
- **UV**: Ultraviolet.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

DEDICACES

DICTIONNAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

Introduction.....	1
I. Aquaculture	2
I.1. Définition	2
I.2. Diverses productions aquacoles	3
I.2.1. Eau douce.....	3
I.2.1.a. Salmoniculture	3
I.2.1.b. Pisciculture d'étang.....	3
I.2.1.c. Autres élevages	3
I.2.2. Eau de mer	3
I.2.2.a. Pisciculture marine.....	3
I.2.2.b. Conchyliculture	3
I.2.2.c. autres élevages	3
II. Milieu aquatique	8
II.1. Définition	8
II.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'aquaculture.....	9
II.2.1. Température.....	9
II.2.2. Lumière	10
II.2.3. Oxygène	10
II.2.5. Salinité :.....	11

II.2.6. pH, alcalinité et dureté	11
II.2.7. Solides et turbidité :	12
II.2.8. Composés azotés :	12
II.3. Différents risques de contaminations des eaux d'aquaculture:	12
III. Traitement des eaux d'Aquaculture.....	14
III.1. L'épuration	14
III.2. L'aéro-oxygénation	14
III.3. La stérilisation.....	14
III.3.2. Le Chlore.....	14
III.3.1. Les ultra-violets	15
III.3.1. L'ozone	15
III.3.1.a. Définition	15
III.3.1.b. Caractéristiques physicochimiques de l'ozone	15
III.3.1.c. Toxicité	18
III.3.2. Mécanisme d'action de l'ozone sur les bactéries	20
III.3.3. Spectre d'inactivation	21
III.3.4. Production d'ozone :	26
III.3.4.a. Production naturelle.....	26
III.3.4.b. Formation artificielle	26
III.3.5. Domaines d'utilisation	27
III.3.6. Utilisation de l'ozone en aquaculture	29
III.3.7. Système d'ozonisation	30
III.3.8. Protection contre l'exposition à l'ozone	31
Conclusions et recommandations.....	33
Références bibliographiques.....	35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Liste des espèces existant en Algérie pouvant faire l'objet d'élevage aquacole (Karali, ISMAL, 2005).....	4
Tableau 2: Consommation d'eau par divers systèmes de productions aquacoles (en m ³ /t de produits récoltés) (Billard, 2005).....	8
Tableau 3: Exemples de températures optimales pour la croissance de quelques poissons d'eau douce (Burlot et al., 1998).	9
Tableau 4: les principaux groupes d'agents pathogènes affectant des organismes d'intérêt aquacole (Billard, 2005).	13
Tableau 5: La toxicité de l'ozone dissous pour les poissons (Summerfelt et Hocherimer, 1997).....	19
Tableau 6 : inactivation des bactéries Gram positive par l'ozone (Khadre et al., 2001):	23
Tableau 7: inactivation des bactéries Gram négative par l'ozone (Khadre et al., 2001) :.....	24
Tableau 8: spectre d'inactivation des virus par l'ozone (Khadre et al., 2001):	25
Tableau 9: domaines d'utilisation de l'ozone (Ozomax, LTEE.)	28
Tableau 10: comparaison chlore-ozone (Riboni, Moerschell, 2007).	32
Tableau 11: Avantages et inconvénients de l'ozone (Amrish, 2006)	32

LISTE DES FIGURES

Figure 1: L'effet de l'ozone sur la tunique des spores <i>bacillus subtilis</i> (A et B, avant et après traitement respectivement).....	22
Figure 2: Production d'ozone par lampe ultra-violet (Salama, 2006).	26
Figure 3: Production d'ozone par décharge Corona (Salama, 2006).....	27
Figure 4: Schéma des différentes étapes d'ozonisation (E. Riboni, U. Moershell, 2007).....	31

Introduction

Introduction

L'aquaculture est un secteur en expansion dans le monde entier. Cette activité y est le plus souvent perçue comme nouvelle et venant au secours d'une pêche en déclin. Les espèces élevées sont nombreuses et variées et dépendent tant des facteurs géographiques et climatiques locaux que des impératifs du marché. En Algérie, l'aquaculture est largement dominée par l'élevage du Tilapia et de la daurade dans les eaux douces et salées, respectivement.

Bien que la production annuelle Algérienne de poissons soit de 500 tonnes, cette dernière ne suffit pas pour combler le déficit en produits de la pêche (Temmar, 2008). Afin d'augmenter la productivité en poisson, le Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques a débloqué un budget conséquent dans des programmes de création de fermes aquacoles et dans la recherche scientifique dans le domaine de l'aquaculture.

Les élevages des produits aquacoles nécessitent une eau fraîche et convenablement traitée afin de contrer toute contamination ou infection microbienne. En général, pour faire face aux maladies provenant des microorganismes pathogènes, les éleveurs ont recours à l'utilisation d'antibiotiques et aux traitements physico-chimiques des eaux d'aquaculture.

Cependant, après l'utilisation excessive ou exagérée d'antibiotiques, il en résulte une résistance des bactéries pathogènes à ces traitements. De plus, la désinfection des eaux d'aquaculture nécessite des méthodes de traitements efficaces pour l'obtention d'une eau saine et sans danger pour les poissons. Les méthodes de traitements les plus utilisées en aquaculture sont la Chloration, les Ultra-violets (UV) et l'Ozonation. Toutefois, le traitement à l'ozone reste une méthode efficace pour désinfecter les eaux aquacoles.

Ce travail constituera une synthèse bibliographique sur l'aquaculture en général et sur les méthodes de traitements des eaux aquacoles en particulier par la méthode d'utilisation de l'ozone.

Chapitre I : Aquaculture

I. Aquaculture

I.1. Définition

Le terme aquaculture recouvre toutes les activités ayant pour objet la production, la transformation, le conditionnement et la commercialisation d'espèces aquatiques, qu'il s'agisse de plantes ou d'animaux d'eau douce, saumâtre ou salée (Barnabé, 1989). C'est une activité de production de végétaux et d'animaux dans l'eau. Cette pratique est bien développée dans certaines régions du monde et fournit aujourd'hui plus du tiers des ressources mondiales en produits aquacoles. Ceci implique à ce que l'homme produit des espèces de haut intérêt économique et donc bien rémunérées sur le marché. Elle peut être définie selon des critères biotechniques (élevage extensif, intensif, semi-extensif et semi-intensif) mais aussi selon une approche énergétique (aquaculture de production et aquaculture de transformation) (Bœuf, 2002).

L'aquaculture s'intéresse à quatre grandes catégories de production: les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons. S'il n'y a pas de terme spécifique en ce qui concerne les algues, la conchyliculture concerne l'élevage des mollusques, le terme de mytiliculture définit la culture des moules (*Mytilus*) et celui d'ostréiculture, la culture des huîtres (*ostrea*). L'élevage des oursins prend le nom d'échinoculture. Pour ce qui est des crustacés, l'élevage de l'écrevisse (genre *astacus*) est appelé astaciculture.

La pisciculture qui est l'élevage de poissons prend le nom de trutticulture lorsqu'il s'agit de truites, salmoniculture pour les salmonidés, de cypriniculture pour les espèces de la famille des cyprinidés. La carpiculture désigne spécifiquement l'élevage de la carpe. Bien d'autres mots composés ont été proposés pour définir des types particuliers d'aquaculture, leur emploi est très limité (Barnabé, 1989).

Il existe aussi la pisciculture d'étang, un écosystème particulier. L'étang est une surface en eau peu profonde (de 1,5 à 4 m en moyenne) à très faible écoulement. Il s'agit donc d'un milieu quasiment fermé où interagissent différents éléments constitutifs de l'écosystème (Burlot et al., 1998)

I.2. Diverses productions aquacoles (Burlot et al., 1998)

I.2.1. Eau douce

I.2.1.a. Salmoniculture

Consiste en l'élevage de: la truite arc-en-ciel, la truite fario, les salmonidés passés en mer, le saumon atlantique, le saumon coho, le corégone, l'omble chevalier et l'omble de fontaine.

I.2.1.b. Pisciculture d'étang

Représente l'élevage du: Black- Bass, les poissons blancs, le brochet, la carpe commune, Les carpes herbivores, Les carpes koï et poissons rouges, Le goujon, perche commune et Le sandre.

I.2.1.c. Autres élevages

Concerne l'élevage des: Anguilles, Ecrevisses, Esturgeon, Grenouilles, L'ombre commun, Les poissons chats, Les poissons d'aquarium, Le silure, et Le tilapia.

I.2.2. Eau de mer

I.2.2.a. Pisciculture marine

Concerne l'élevage du: Bar (loup), La daurade, Le flétan, La morue, Le pagre, La sériole, Le thon rouge, Le turbot.

I.2.2.b. Conchyliculture

Elevage de: La coquille Saint-Jacques, L'huître, L'huître perlière, La moule, La palourde.

I.2.2.c. autres élevages

Arthropodes: Les crevettes pénéides et les chevrettes.

Echinodermes: Les oursins violets.

Algues: Les algues rouges, les laminaires et *Undaria Pinnatifida*

Zooplancton: Les artémias et les rotifères.

Phytoplancton.

Le tableau 1 donne les différentes espèces aquatiques d'eau douce et d'eau de mer qui peuvent être élevées en captivité en Algérie.

Tableau 1: Liste des espèces existant en Algérie pouvant faire l'objet d'élevage aquacole (Karali, ISMAL, 2005)

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Nature du milieu	Régime alimentaire
<i>Cyprinus carpio</i>			
	Carpe commune	Eau douce	Omnivore
<i>C.c. Var specularis</i>			
	Carpe royale	Eau douce	Omnivore
<i>Ctenopharyngodon idella</i>			
	Carpe herbivore	Eau douce	Herbivore
<i>Brbus barbuis</i>			
	Barbeau	Eau douce	Omnivore
<i>Anguilla anguilla</i>			
	Anguille	Eau saumâtre	Carnivore
<i>Mugil cephalus</i>			
	Mulet	Eau saumâtre	Herbivore
<i>Tilapia nilotica</i>			
	Tilapia	Eau douce	Microphage
<i>Venerupis aurea</i>			
	Palourde jaune	Eau de mer	Phytoplanktophage et suspensivore

Tableau 1: Liste des espèces existant en Algérie pouvant faire l'objet d'élevage aquacole (suite)

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Nature du milieu	Régime alimentaire
<i>Micropterus salmoides</i>			
	Black bass	Eau douce	Carnivore
<i>Dicentrarchus labrax</i>			
	Loup	Eau de mer	Carnivore
<i>Salmon gairdneri</i>			
	Truite	Eau douce	Carnivore
<i>Alburnus alburnus</i>			
	Ablette	Eau douce	Carnivore
<i>Exos lucius</i>			
	Brochet	Eau douce	Carnivore
<i>Lucioperca lucioperca</i>			
	Sandre	Eau douce	Carnivore
<i>Pagrus aurita</i>			
	Dorade	Eau de mer	Carnivore
<i>Leuciscus rutilus</i>			
	Gardon	Eau douce	Carnivore

Tableau 1: Liste des espèces existant en Algérie pouvant faire l'objet d'élevage aquacole (suite)

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Nature du milieu	Régime alimentaire
<i>Tinca tinca</i> 	Tanche	Eau douce	Carnivore
<i>Solea solea</i> 	Sole	Eau de mer	Carnivore
<i>Leuciscus cephalus</i> 	Chevaine	Eau douce	Omnivore
<i>Siluris glanis</i> 	Poisson chat	Eau douce	Carnassier
<i>Mytilus galloprovincialis</i> 	Moule méditerranéenne	Eau de mer	Phytoplanctophage et suspensivore
<i>Ostrea edulis</i> 	Huitre plate	Eau de mer	Suspensivore
<i>Crassostrea gigas</i> 	Huitre creuse	Eau de mer	Suspensivore

Chapitre II : Milieu aquatique

II. Milieu aquatique

II.1. Définition

L'eau est à la fois un simple support physique pour l'animal aquatique (apportant l'oxygène et diluant les produits du métabolisme) et un milieu biologique assurant la production alimentaire primaire et secondaire dans les étangs. Du point de vue quantitatif, l'aquaculture consomme des volumes d'eau variables selon les systèmes et les espèces comme le montre le tableau 2.

Tableau 2: Consommation d'eau par divers systèmes de productions aquacoles (en m³/t de produits récoltés) (Billard, 2005)

Espèce	Système	M ³ d'eau par tonne produite	Devenir de l'eau utilisée
Productions aquacoles hors sol			
Salmonidés	Intensif	250 000	Restituée
Poisson-chat américain	Etang (intensif)	6 500	Evaporée
Cyprinidés	Polyculture	6-8 000	Evaporée
	Etang (1/2 intensif)	1 700	Recyclée
Espèces tropicales	Etang eau stagnante	15 000	Evaporation, infiltration
Poisson-chat africain	intensif	1 000	Evaporée
Crevette	Etang (intensif)	11-55 000	Restituée

L'eau présente plusieurs caractéristiques originales dont il faut tenir compte dans la gestion d'une exploitation aquacole. Comparativement à l'air, la densité de l'eau est élevée. Elle permet aux organismes aquatiques de rester en suspension et de se mouvoir sans dépense importante d'énergie.

Le milieu aquatique a la capacité de diluer fortement des éléments toxiques éliminés par les poissons. Par exemple, l'ammoniac (NH₃) est rejeté tel quel sans avoir à subir les transformations complexes coûteuses en énergie.

La qualité de l'eau requise par l'aquaculture varie selon les espèces et les systèmes intensif, extensif, semi-extensif et semi-intensif. Elles se réfèrent à des paramètres physico-chimiques et biologiques qui permettent de satisfaire au mieux les exigences des animaux aquacoles en vue d'optimiser la production et la ponte. (Billard, 2005).

II.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'aquaculture

II.2.1. Température

Les espèces aquacoles sont poécilothermes c'est à dire que le corps de l'animal suit la température ambiante alors que les grandes fonctions de l'organisme, le métabolisme basale, la croissance, la reproduction se déroulent dans des limites thermiques précises.

La température doit être prise en compte dans les pratiques d'élevage : par exemple ajuster la ration à la température ambiante, éviter de soumettre les animaux à de fortes variations thermiques génératrices de stress, et maintenir des températures plus basses lors des transports. La susceptibilité des organismes aux maladies, aux parasites ou aux substances toxiques dépend aussi de la température. De même, une élévation de température influence doublement la physiologie des espèces en augmentant le métabolisme d'une part, et en réduisant la solubilité de l'oxygène dans l'eau lorsque la température augmente. La température de l'eau du site détermine le choix des espèces à élever (Billard, 2005). Le tableau 3 donne quelques exemples de températures optimales pour la croissance de quelques poissons d'eau douce.

Tableau 3: Exemples de températures optimales pour la croissance de quelques poissons d'eau douce (Burlot et al., 1998).

Espèces	Températures
Truite fario (<i>Salmo trutta</i>)	12- 15°C
Truite arc en ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	14- 17°C
Saumon atlantique (<i>Samo salar</i>)	13°C
Anguille (<i>Anguilla anguilla</i>)	22- 26°C
Brochet (<i>Esox lucius</i>)	20°C
Silure glane (<i>Silurus glanis</i>)	25- 27°C

II.2.2. Lumière

Les organismes aquatiques sont fortement influencés par la lumière, (son intensité, photopériode et le spectre des couleurs). Elle permet la photosynthèse qui est assurée par les algues et les macrophytes présents dans les eaux et détermine la richesse du réseau trophique dans les plans d'eau. Les fortes intensités lumineuses sont en général mal tolérées par les animaux. Le plus souvent les bacs d'élevage sont recouverts d'écran pour éviter une exposition directe aux rayons solaires. Certains organismes comme des crevettes pénéides sont lucifuges et évitent la lumière en s'enfonçant dans les sédiments, au fond des bassins, durant le jour. En revanche, de nombreuses espèces de poisson capturent leurs proies visuellement et un seuil minimum de lumière est nécessaire. L'allongement de la durée de jour permet aux larves de s'alimenter plus longtemps sur une période de 24h et se traduit par une meilleure croissance. Le silure européen s'alimente la nuit. Cependant, des poissons cavernicoles ou de grandes profondeurs vivent et se reproduisent dans une obscurité complète, mais ils restent indirectement soumis aux changements saisonniers

La lumière exerce une influence directe sur la physiologie des animaux. Ces derniers, possèdent en général des photorécepteurs: soit des organes (œil et pinéale chez les vertébrés), soit des cellules photoréceptrices chez les invertébrés. La lumière est nécessaire pour la pigmentation des poissons qui s'établit au début du développement. La photopériode a un rôle déterminant sur la gamétogénèse de beaucoup d'espèces (Billard, 2005).

II.2.3. Oxygène

Plusieurs facteurs déterminent les concentrations en oxygène. La diffusion de l'oxygène de l'air dans l'eau courante est assurée par l'agitation de l'eau. Contrairement à l'eau stagnante, où la diffusion de l'oxygène dans l'eau est faible, sa source principale est la photosynthèse qui est assurée par les micro-algues. Le zooplancton, le benthos et les bactéries aérobies sont consommateurs d'oxygène et se trouvent en compétition avec les poissons. A saturation, les teneurs en oxygène sont plus élevées en eau douce qu'en eau de mer. La consommation d'oxygène a été mesurée pour diverses espèces, elle dépend de la température, de la teneur en oxygène dans l'eau et de l'activité des animaux aquatiques. Les poissons d'eau froide comme les salmonidés sont plus exigeants en oxygène (6-8 mg/L pour une croissance optimale) alors que des poissons d'eaux chaudes comme les cyprinidés tolèrent des concentrations de 3 mg/L. Les besoins en oxygène dépendent de nombreux facteurs liés au poisson lui même, comme la taille et le sexe, la fréquence des repas et le taux d'alimentation.

En hypoxie, le poisson est plus vulnérable aux maladies et des mortalités apparaissent au-dessous de 3 mg/L (Billard, 2005).

II.2.4. Dioxyde de carbone :

Le CO₂, diffusé dans l'eau à partir de l'atmosphère ou provenant de la respiration des organismes aquatiques, réagit avec l'oxygène et se trouve présent sous plusieurs formes dont la teneur dépend du pH : acide carbonique H₂CO₃, bicarbonates HCO₃⁻, carbonate CO₃²⁻ (Billard, 2005).

II.2.5. Salinité :

Dans la pratique aquacole, la salinité est la quantité en gramme de sels dissous dans 1 kg d'eau (‰). La quasi-totalité est représentée par des chlorures (sodium, potassium), des sulfates (magnésium, calcium) et carbonates (calcium, potassium). La salinité des eaux aquacoles va d'une eau quasiment désionisée à l'eau de mer dont la salinité est en général de 33 à 37‰. Des espèces d'eau douce, comme la truite arc en ciel, supportent des salinités de 30‰. Le bar qui est une espèce marine supporte des salinités faibles de 0,5 à 1‰. En zone côtière et en estuaires, le poisson doit s'adapter aux brusques changements de salinités et seules des espèces euryhalines comme le mulot, le loup et le tilapia peuvent faire l'objet d'élevage dans ces milieux (Billard, 2005).

II.2.6. pH, alcalinité et dureté

L'eau de mer, qui est basique, a un meilleur pouvoir tampon que l'eau douce. Pour la pisciculture, les eaux doivent présenter un pH compris entre 6,7 et 8,6. Le pH ne pose pas de problèmes majeurs sauf dans le cas de milieux fortement eutrophisés (étangs) ou de circuits fermés (Billard, 2005).

Il peut être modifié par l'ajout de chaux pour augmenter le pH en entrée de pisciculture. Ceci est praticable dans de petites piscicultures situées dans des zones à sols acides où de fortes précipitations peuvent faire baisser le pH (Burlot et al., 1998).

L'alcalinité correspond à la teneur de l'eau en bases, carbonates (CO₃⁻), bicarbonates (HCO₃⁻) exprimé en équivalent de carbonates de calcium (CaCO₃). L'alcalinité doit être au moins de 20 mg/l équivalent (CaCO₃). La dureté est la mesure de la teneur en ions divalents, principalement Ca²⁺ et Mg²⁺ dans l'eau; la quantité libre dans les eaux d'élevage est de 24 à 100 mg/l (Billard, 2005).

II.2.7. Solides et turbidité :

Les solides totaux sont constitués des matières en suspension (MES) et des solides dissous. Les solides en suspension affectent la vie des animaux en élevage ou celle des organismes planctoniques, la qualité de l'eau (diminution de la teneur en oxygène), et la productivité. La turbidité correspond à une opacification de l'eau due à des particules en suspension, mortes (solides) ou vivantes (algues). Les eaux turbides posent un problème de traitement en cas de recyclage avec en particulier le colmatage des filtres. Les eaux turbides ne conviennent pas pour les éclosiers mais sont plus au moins tolérées par les animaux en grossissement. Les concentrations en solides admissibles dans l'eau ne doivent pas excéder 4% en volume (Billard, 2005).

II.2.8. Composés azotés :

Il existe dans l'eau divers composés azotés, originaires du bassin versant et du métabolisme des organismes aquatiques incluant les bactéries. Une partie de ces composés est représenté par l'ammoniaque qui revêt deux formes différentes, une forme combinée non ionisée NH_3 très toxique pour les poissons et une forme ionisée (NH_4^+) peu toxique. La forte toxicité de NH_3 serait due au fait que l'ammoniac passe facilement les membranes des cellules branchiales. Les teneurs sont exprimées en mg/L d'azote ammoniacal et/ou d'ammoniac libre. La proportion de ces deux formes dans l'eau dépend de la température, du pH et de la salinité (Billard, 2005).

La proportion de NH_3 augmente avec l'augmentation du pH et de la température. La norme réglementaire imposée est de moins de 1 mg/l de NH_4^+ en sortie de pisciculture. (Burlot et al., 1998).

II.3. Différents risques de contaminations des eaux d'aquaculture:

Les maladies constituent un handicap majeur en aquaculture. Les risques de contamination des élevages sont grands du fait de la transmission réciproque entre sujets d'élevage et congénères sauvages. De plus l'intensification, la diversification et la mondialisation (échanges d'espèces planétaire importants) sont des vecteurs de contamination. L'état de maladie se traduit par l'apparition d'anomalie du comportement et de l'intégrité corporelle qui se répète au sein d'un cheptel conduisant généralement à la mort ou à la baisse des performances de croissance et de la qualité de la chair et des produits (Billard, 2005).

Ces anomalies résultent de l'altération des fonctions physiologiques dues à plusieurs causes, les unes sont d'ordre Physique: lumière, rayonnements et agressions mécaniques résultant de manipulations, capture, stockage, triage, transport et surpeuplement. Les autres sont d'ordre chimique: concentration inappropriée en gaz dissous (O₂, azote, CO₂), en composés azotés (nitrite et ammoniac) et présence de divers polluants. Les causes d'ordre biologique sont représentées par les microorganismes qui sont: les parasites, bactéries et virus, dont les effets sont amplifiés par les agressions physiques et chimiques.

Parmi les causes physiques, le rayonnement ultra violet affecte les cellules des muqueuses au niveau de la peau et réduisent la sécrétion du mucus qui joue un rôle important dans la défense immunitaire non spécifique. En outre, les poissons ont un squelette fragile; ils sont sensibles aux traumatismes, choc et chute lors de tri, de manipulation ou de transport qui se traduisent par des malformations et des retards de croissance. Les animaux aquatiques sont affectés par plusieurs grands groupes de virus et de bactéries et une large diversité de parasites (Billard, 2005). Les différents microorganismes affectant les animaux aquatiques sont représentés dans le tableau 4.

Tableau 4: les principaux groupes d'agents pathogènes affectant des organismes d'intérêt aquacole (Billard, 2005).

Virus	Bactéries	Parasites	
		Champignons	Protozoaires
Birnavirus	<i>Aeromonas</i>	<i>Aphanomyces</i>	Amibes
Herpes virus	<i>Lactococcus</i>	<i>Branchiomyces</i>	Flagellés
Iridovirus	<i>Flavobacterium</i>	<i>Saprolegnia</i>	Ciliés
Nodavirus	<i>Flexibacter</i>	<i>Lagenidium</i>	Apicomplexa
Ranavirus	<i>Pseudoaltéromonas</i>	<i>Sirolopidium</i>	Myxosporidies
Rhabdovirus	<i>Pseudomonas</i>	<i>Fusarium</i>	Microsporidies
Coronavirus	<i>Streptococcus</i>		
	<i>Vibrio</i>		
	<i>Yersinia</i>		

Chapitre III: Traitement des eaux d'aquaculture

III. Traitement des eaux d'Aquaculture

Une mauvaise qualité de l'eau est une source de contamination pour les animaux aquacole et par conséquent une perte de revenu pour l'aquaculteur. En effet, de fortes concentrations en ammoniac et/ou en nitrites, une accumulation des déchets organiques et le manque en oxygène dans l'eau augmentent considérablement le risque de maladies pour la faune aquatique et diminuent ainsi leur taux de croissance.

Le traitement de l'eau en aquaculture vise à éliminer les substances inertes indésirables, à détruire les germes pathogènes et à opérer des transports de gaz entre phase liquide et gazeuse (Barnabé, 1989). Les techniques employées sont les suivantes :

III.1. L'épuration

La mise en œuvre de cette technique dépendra de la quantité et de la qualité de l'eau dont on dispose à l'approvisionnement. Plus le rapport sera faible entre le débit de l'approvisionnement et le débit nécessaire à l'élevage et plus la chaîne de traitement sera importante et complexe. Deux procédés sont utilisés à l'heure actuelle : la décantation et les bio-filtres (Barnabé, 1989).

III.2. L'aéro-oxygénation

L'aération est sans conteste le traitement d'eau le plus courant en aquaculture. Consiste en l'approvisionnement en oxygène nécessaire à la survie des poissons (Barnabé, 1989).

III.3. La stérilisation

En désinfection des eaux aquacoles, trois agents germicides sont utilisés : les UV, le Chlore et l'Ozone (Barnabé, 1989).

III.3.2. Le Chlore

Le dioxyde de chlore (ClO_2) est un puissant oxydant qui est ajouté à l'eau pour en assurer sa désinfection et pour en éliminer le mauvais goût et les odeurs désagréables. Cependant, le ClO_2 se décompose rapidement en plusieurs dérivés chlorés incluant les chlorites, les chlorures et les chlorates; dérivés chlorés dangereux (Barnabé, 1989). Par conséquent, malgré le faible coût d'investissement dans l'installation d'une unité de traitement des eaux, l'utilisation du chlore reste limitée (Riboni et Moerschell, 2007).

III.3.1. Les ultra-violets

Le traitement UV désigne le procédé de désinfection de l'eau qui traverse une source lumineuse particulière. L'ampoule produit des ondes ultraviolettes qui inactivent les micro-organismes pathogènes. Cette technique de traitement se développe fortement puisqu'elle ne requiert pas l'ajout de produits chimiques (Mark, 2007). Par contre, l'efficacité du traitement est diminuée par la présence des particules dans l'eau qui stoppent les rayonnements UV (Riboni et Moerschell, 2007).

III.3.1. L'ozone

III.3.1.a. Définition

Depuis l'antiquité, on a remarqué les traces de l'ozone par son odeur caractéristique, le chimiste hollandais Van Marum qui fût probablement la première personne à détecter de manière sensorielle le gaz de l'ozone. Cependant sa découverte fût seulement mentionnée des décennies plus tard dans des écrits de Schonbein qui remontent à 1840 (Bayley, 1978).

L'ozone est une forme allotropique de l'oxygène, sa molécule O_3 est produite à partir de l'activation de la molécule d'oxygène, d'après la réaction endothermique :



Cette forme instable de l'oxygène se décompose en molécules et atomes qui possèdent un potentiel d'oxydation très élevé. Si nous examinons la puissance de l'ozone en mesurant son potentiel Redox, nous constatons que l'ozone est cinq fois plus oxydant que l'oxygène et environ vingt à cinquante fois plus réactif que le chlore et les permanganates. Ce qui explique le taux élevé de neutralisation des micro-organismes tel que les bactéries et les virus. Grâce à cette haute puissance d'oxydation, nous pouvons utiliser des temps de contacts moins long et de plus petits réservoirs par rapport à d'autres oxydants, en d'autres termes les coût capitaux de son installation sont considérablement réduits (Martin et al., 2003)

III.3.1.b. Caractéristiques physicochimiques de l'ozone

La solubilité

La dissolution des gaz qui sont partiellement solubles dans l'eau, tel que l'ozone suit la loi d'Henry qui définit que la quantité de gaz dans la solution, à une température donnée est linéairement proportionnelle à la pression partielle du gaz (Bablon et al., 1991).

La concentration d'un ozone dissout suit cette équation (Khadre et al., 2001) :

$$C_s = \beta M + P \quad (1)$$

C_s : Etant la concentration de saturation de l'ozone dissout dans l'eau sous conditions idéales (Kg d'ozone/ m³ d'eau).

β : Coefficient d'absorption de Bunsen.

M : La densité du gaz (Kg /m³).

P : Pression partielle.

Les facteurs influençant la solubilité sont :

La pureté de l'eau

Selon une expérimentation effectuée par KIM, 1998 le gaz de l'ozone se dissout plus rapidement dans de l'eau désionisée et eau distillée que dans de l'eau du robinet, en effet, la matière organique présente dans l'eau peut consommer l'ozone (Khadre et al., 2001).

Le diamètre de la bulle d'ozone

Une dissolution optimum de l'ozone dans l'eau est produite quand les bulles sont de 1 à 3 mm de diamètre. En effet, de plus petites bulles donnent une plus grande superficie de contact extérieur ce qui augmente la solubilité (Katzenelson et al., 1974).

En plus des ces trois paramètres, le débit d'ozone et le temps de contact de celui-ci avec l'eau joue un rôle important dans la solubilité.

Stabilité

L'ozone est relativement instable dans les solutés; il se décompose sans interruption mais lentement en oxygène selon une pseudo-réaction du premier ordre (Khadre et al., 2001):

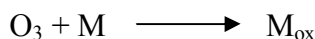
$$d[O_3]/dt = - k [O_3] / [OH] \quad (2)$$

Wynn et al., 1985 ont constaté que l'ozone à une demi-vie de 165 minutes en eau distillée à 20°C, Wichramanayake, 1984 a constaté par contre une demi-vie plus courte de deux à quatre minutes dans un soluté à 25°C et un pH de 7.

Réactivité :

Les produits organiques et inorganiques dans les solutés réagissent avec l'ozone de deux voies (Khadre et al., 2001).

Réaction direct des composés organiques avec la molécule d'ozone :



M : matière organique,

M_{ox} : matière organique oxydée

Décomposition de l'ozone en radicaux qui vont agir sur le composé organique:



Les réactions moléculaires de l'ozone sont sélectives et limitées aux composés aromatiques et aliphatiques insaturés. L'oxydation des groupes sulfhydriques qui sont abondants dans les enzymes microbiens peut expliquer l'inactivation rapide des micro-organismes et des spores bactériennes par l'ozone (Khadre et al. 2001).

N-acétyl glucosamine présente dans le peptidoglycane des parois cellulaires des bactéries et dans les capsides viraux était résistante à l'action de l'ozone dans les solutés à pH 3 à 7 (Perez et al., 1995).

Contrairement au glucose, la glucosamine est plus facilement dégradable par l'ozone. Il a été observé que les bactéries Gram⁺ sont plus résistantes aux traitements par l'ozone comparativement aux Gram⁻. Cela est dû à l'importante quantité de peptidoglycane présente dans la paroi cellulaire des bactéries Gram⁺.

L'action de l'ozone sur des acides aminés et des peptides est efficace. Il réagit lentement avec les acides gras saturés. Par contre les acides gras insaturés sont aisément oxydés par l'ozone. Les bases nucléotides réagissent rapidement avec l'ozone particulièrement la thymine, guanine et uracile (Khadre et al., 2001).

Plusieurs facteurs influencent la réactivité de l'ozone, parmi eux :

La température : le taux de destruction des micro-organismes par un désinfectant augmente généralement avec l'augmentation de la température (Foire et al., 1968). La température détermine en partie le taux de réaction avec le substrat et le taux de diffusion à travers les surfaces des microorganismes du désinfectant. A une concentration constante de ce dernier, l'augmentation de la température de 10°C augmente le taux de réaction avec le

substrat de 2 ou 3. Cependant dans le cas de l’ozone l’augmentation de température diminue sa solubilité mais augmente sa réactivité (Khadre et al., 2001).

Le pH : Il affecte considérablement la stabilité de l’ozone (Khadre et al., 2001). Aux pH bas (< 7), l’ozone agit principalement comme molécule O_3 par des réactions sélectives et parfois relativement lentes. Toutefois, à des pH légèrement alcalin, il se décompose rapidement et se transforme en composés radicalaires hydroxyles qui réagissent très rapidement avec les matières organiques. Des études rapportées par Amrishi (2006) ont prouvé que l’augmentation du pH augmente la cinétique d’ozonation des composés organiques. Par conséquent l’alcalinité de l’eau est un paramètre principal dans des processus avancés d’oxydation.

III.3.1.c. Toxicité

L’ozone est fortement toxique à l’organisme aquatique à de très faible dose (0.01 mg/l). Il est capable d’oxyder plusieurs composés biochimiques présents dans les organismes vivants, incluant les acides aminés, acides gras, des groupements sulfhydryles (Carmichael et al., 1982). Une sévère oxydation dans les tissus vivants a été rapportée dans la littérature. Des radicaux libres sont produits au cours de la réaction d’oxydation provoquant des dommages irréversibles sur les enzymes et les lipides au niveau de la membrane (Summerfelt et Hocheimer, 1997).

L’ozone détruit l’épithélium qui couvre les lamelles des branchies résultant d’une chute rapide de l’osmolarité du sérum (Summerfelt et Hocheimer, 1997). Si la mortalité n’a pas lieu immédiatement, la réduction de l’osmolarité du sérum peut laisser le poisson très susceptible aux infections microbiennes (Paller et Heidinger, 1979). La dose létale d’ozone aux poissons apparaît à partir de 0,01 mg /l. Cependant, cette concentration dépend des espèces et du stade d’élevage (Summerfelt et Hocheimer, 1997).

Il n’existe pas de technologie qui puisse contrôler de manière continue la concentration d’ozone. Cependant, il est possible de mesurer le taux total des oxydants.

Le tableau 5 donne les concentrations létales de l’ozone de quelques poissons.

Tableau 5: La toxicité de l’ozone dissous pour les poissons (Summerfelt et Hocherimer, 1997).

Espèce	Concentration d’ozone (mg/l)	Effet
▪ <i>Oncorhynchus mykiss</i>	0 ,0093	96h- LC50
▪ <i>Lepomis macrochirus</i>	0 ,01	60% de mortalité
▪ <i>Pimephales promelas</i>	0,2-0,3	Létale
▪ <i>Morone Americana</i>	0,38	24h-LC50
▪ <i>Morone saxatilis</i>	0,08	96h-LC50

(LC50 = la concentration létale pour 50% de poissons)

L’exposition à l’ozone peut être dangereuse, car il attaque les voies respiratoires et provoque des inflammations et des œdèmes pulmonaires accompagnés par des hémorragies capillaires suite à une exposition prolongée. Il peut atteindre les milieux sanguins et causer des dommages à ce niveau. Selon OSHA (Occupationnel Safty and Healt Administrator) le seuil d’exposition doit être inferieure à 0,1mg/l à un temps d’exposition moyen de 8h et un maximum d’exposition de 0,3 mg/l pour moins de 10 mn. Pour la sécurité de l’humain, la concentration doit être continuellement contrôlée afin d’éviter ces effets néfastes (Summerfelt et Hocherimer, 1997).

Des méthodes physiques, physicochimiques et chimiques ont été employées pour la détermination de l’ozone. Les méthodes physiques mesurent l’absorption directe dans la région UV ou infrarouge du spectre. Les méthodes physicochimiques dépendent des effets tels que, la chaleur ou la chimiluminescence provoquée par la réaction. Les méthodes chimiques dosent les produits libérés quand l’ozone agit avec un réactif chimique (Khadre et al., 2001). Les deux méthodes les plus utilisées généralement pour la mesure de l’ozone sont l’adsorption et la colorimétrie UV d’indigo (Amrish, 2006).

Il convient d’examiner les effets de l’ozone sur les composés organiques et minéraux dissous dans les eaux traitées avant de pouvoir affirmer que son utilisation ne présente aucun risque pour la santé des êtres vivants.

Action sur les sels minéraux

L’ozonolyse permet la destruction des complexes formés par les matières organiques et des éléments minéraux tels que le manganèse, le fer. Elle libère et oxyde ces métaux en ions Fe^{3+} , Mn^{4+} qui participent dans la réaction d’oxydation à un pH optimum. Néanmoins, cette libération des divers éléments métalliques, à la phase ultime du traitement de l’eau, peut

y laisser subsister des traces de métaux (arsenic, nickel, cobalt, cuivre, cadmium, etc.) (Lavoisier, 1991).

Action sur les matières organiques

Si l'action stérilisante de l'ozone sur les eaux à traiter se manifeste après contact de dix minutes, la dégradation des matières organiques dans les conditions de l'eau résiduaires est évidente. Par contre, la nature des composés formés et la cinétique de leurs formations n'ont été que très partiellement déterminées. On voit donc apparaître dans la littérature de nombreux travaux réalisés dans le but d'élucider le devenir des composés organiques sous l'effet de l'ozonation (Lavoisier, 1991).

III.3.2. Mécanisme d'action de l'ozone sur les bactéries

Tous les micro-organismes sont sensibles à l'action d'un oxydant comme l'ozone. La réussite de la désinfection est contrôlée par deux grands groupes de paramètres: ceux liés à l'environnement et ceux liés aux micro-organismes eux même. L'inactivation des bactéries par l'ozone est un processus complexe parce que l'ozone attaque de nombreux constituants cellulaires comprenant des protéines, des lipides insaturés et des enzymes respiratoires.

Enveloppe des cellules

L'ozone peut oxyder divers composants des enveloppes cellulaires comprenant des acides gras polyinsaturés, des enzymes, des glycoprotéines et des glycolipides menant à la fuite du contenu des cellules et causant par la suite la lyse (Scott et Leshner, 1963 ; Murray et al., 1965).

Quand les liens doubles des lipides insaturés et les groupes sulfhydriques d'enzymes sont oxydés par l'ozone, l'activité cellulaire normale est compromise en augmentant la perméabilité de la cellule et une mort rapide s'ensuit.

Les expositions à court terme d'*Escherichia coli* K-12, au gaz de l'ozone ont compromis la perméabilité de la membrane mais n'ont pas affecté la viabilité qui a progressivement diminuée avec une plus longue exposition (Komanapalli et al., 1996).

L'ozone détruit *E. coli* par l'interférence du système respiratoire. (Foegeding, 1985; Ingram et Haines, 1949).

L'inactivation des enzymes par l'ozone est probablement due à l'oxydation des groupes sulfhydriques dans les résidus de cystéine. (Chang, 1971).

Matériels nucléique

La thymine est plus sensible que la cytosine et l'uracile à l'action de l'ozone aqueux (Scott, 1975; Ishizaki et al., 1981). Il a été aussi rapporté que l'ozone affecte l'ADN plasmidique en réduisant sa capacité de transformation ainsi que son activité de transcription (Hamelin, 1985 ; Mura et Chung, 1990). Herault et Chung (1984) ont constaté que l'ozone peut induire des mutations chez *Escherichia Coli*. Cependant, une autre étude n'a détecté aucun effet mutagène de l'ozone sur des espèces *Salmonella, spp.* (Victorin et Stahlberg, 1988). Cependant, comparé à d'autres agents mutagènes, l'ozone s'est avéré un agent mutagène faible sur la moisissure *Saccharomyces cerevisiae* (Dubeau and Chung, 1982).

Spore bactérienne

Les spores de *Bacillus cereus* dépourvu de tunique ont été rapidement inactivées par l'ozone comparativement aux spores intactes. Il a été déduit que la tunique de la spore représente une première barrière à l'attaque de l'ozone (Foegeding, 1985). Khadre et Yousef (2001) ont constaté que la tunique des spores de *bacillus subtilis* est fortement affectée par l'ozone (figure 1).

Enzyme

Plusieurs auteurs se sont référés à l'inactivation d'enzymes comme mécanisme important par lequel l'ozone tue la cellule. Sykes (1965) a rapporté que le chlore détruit sélectivement certains enzymes alors que l'ozone agit d'une manière générale. (Khadre et al., 2001)

III.3.3. Spectre d'inactivation

Le spectre d'inactivation des micro-organismes par l'ozone est illustré dans les tableaux: 6; 7 et 8.



Figure 1: L'effet de l'ozone sur la tunique des spores *bacillus subtilis* (A et B, avant et après traitement respectivement)

Tableau 6 : inactivation des bactéries Gram positive par l’ozone (Khadre et al., 2001):

Conditions de traitement					
Bactéries	Ozone (mg/ml)	Temps (min)	pH	Temperature (°C)	Réduction Log10
<i>Bacillus megaterium</i>	0.19	5		28	> 2.0
<i>B. cereus</i>	0.12	5		28	> 2.0
<i>Leuconostoc Mesenteroides</i>	0.3 à 3.8	0.5	5.9	25	1.3 à ~7
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.2 à 1.8	0.5	5.9	25	0.7 à ~7
<i>L. monocytogenes</i>	0.1a	10	7.2	25	60 à 70%
<i>Mycobacterium fortuitum</i>	0.23à0.26	1.67	7.0	24	1.0
<i>S. aureus</i>	0,3à 1,97	10			4 à 6
<i>S. aureus</i>		0.25	7.0	25	>2.0

Tableau 7: inactivation des bactéries Gram négative par l’ozone (Khadre et al., 2001) :

Bactéries	Conditions de traitement				
	Ozone (mg/mL)	Temps (min)	PH	Température (°C)	Réduction Log10
<i>Escherichia coli</i>	0.065	0.5			3.5
	0.004 to 0.8	0.5 to 2.0	6.9		0.5 à 6.5
	0.19	5	28		> 2.0
	0.23 à 0.26	1.67	7.0	24	4.0
	0.53	0.1	6.8	1	2.0
<i>E. coli O157:H7</i>	0.3-1.0	<0.5	5.9	25	1.3 à 3.8
<i>Legionella</i>	0.32	20	7.0	24	> 4.5
<i>peumophila</i>	0.47	20	7.0	24	>5.0
<i>L. pneumophila</i>	0.21	5			> 2.0
<i>Salmonella enteritidis</i>	0.5 à 6.5	0.5		25	0.6 à ~4
<i>S. typhimurium</i>	0.23 à 0.26	1.67	7.0	24	4.3
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0.2 à 1,2	<0.5	5.9	25	0.9 à 5

Tableau 8: spectre d'inactivation des virus par l'ozone (Khadre et al., 2001):

Conditions de traitement					
Virus	Ozone (mg/ml)	Temps (min)	pH	T° (°C)	Réduction Log ₁₀
<i>Bacteriophage</i>	0.09 à 0.8	0.08	7.0	25	5.0 à 7.0
	0.6	0.3	6.9	22	2.96
	0.3 à 0.4	0.08	6 à 10	3 à 10	6.0
<i>Virus Hepatite</i>	0.3 à 0.4	0.08	6 à 10	3 à 10	3.9
	0.25	0.02	7.2	20	2.7
	1.0		6 to 8	4	5.0
<i>Poliomyelitis virus</i>	0.3 résiduel.	4.0			4.0
<i>Poliovirus type 1</i>	1 à 10 (initial)				
	0.6 (résiduel)	5			4.0
	0.3 (résiduel)	< 0.14			2.0
	0.23 to 0.26 residual	0.5			2.0
<i>Poliovirus type 1 (Mahoney)</i>	0.23 à 0.26	1.67	7.0	24	2.5 à 3.0
<i>Poliovirus type 3</i>	0.6	0.3	6.9	22	1.63
<i>Rotavirus human</i>	0.1 à 0.3	6.0	6-8	4	3.0
<i>Rotavirus SA 11 simian</i>	0.1 à 0.25	6-8	6-8	4	3.0
<i>Rotavirus humain ATCC</i>	2.1 à 4.2	1.0		22	0.0 à 1.0
<i>Rotavirus human Wooster</i>	1.9 à 15.9	1.0		22	1.0 à 5.0
<i>Vesicular stomatitis virus</i>		0.25	7.0	25	> 2.0

III.3.4. Production d'ozone :

III.3.4.a. Production naturelle

L'ozone est un composé dérivé de l'oxygène, se trouvant en petite proportion dans l'atmosphère. Sa formation naturelle est due à l'action des décharges électriques et des rayons ultra-violet présents dans l'atmosphère. Ces phénomènes sont chargés d'apporter l'énergie nécessaire à la formation d'ozone d'après la réaction endothermique citée précédemment. Il existe aussi dans la nature en plus en moins grande quantité qui dépend du degré de purification de l'environnement. C'est ainsi que nous pouvons sentir son odeur pénétrante dans les espaces libres, s'accroissant surtout après les orages violents (Amrith, 2006).

III.3.4.b. Formation artificielle

L'ozone peut être obtenu par des procédés physico-chimiques, à savoir:

Par électrolyse de l'acide perchlorique (HClO_4) à -50°C , entre une cathode de plomb (Pb) et une anode de platine (Pt). Ce procédé n'est pas rentable d'un point de vue industriel et encore moins domestique.

Par des lampes ultra-violettes entre les longueurs d'ondes de 1942 à 1949 Å (figure 2). Ce système d'obtention d'ozone n'est pas recommandé du fait qu'il se déplace dans des longueurs d'ondes très courtes semblables à celles produites par les rayons X. Ces derniers ont la réputation d'émettre des photons qui détruisent les tissus vivants.

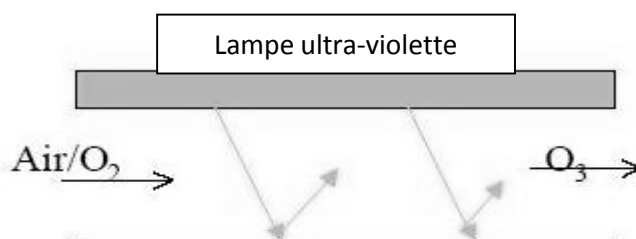


Figure 2: Production d'ozone par lampe ultra-violet (Salama, 2006).

Par décharge électrique qui divise la molécule d'oxygène en deux atomes instables (figure 2). L'ozone est formé alors à partir de la combinaison d'atomes et de molécule d'oxygène (Eagleton, 1999).

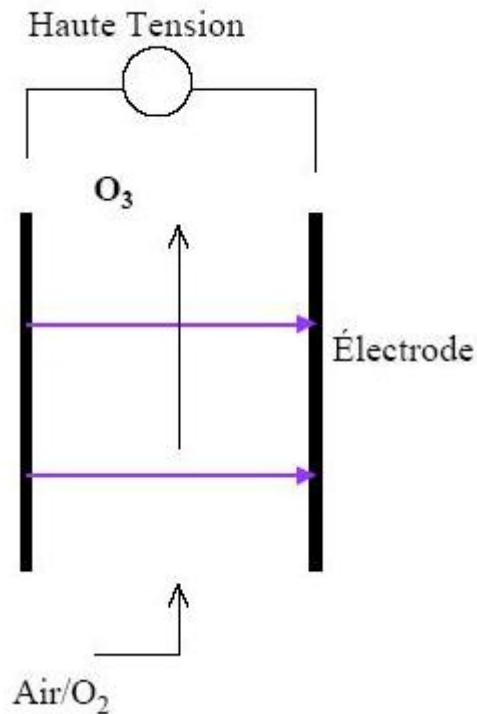


Figure 3: Production d'ozone par décharge Corona (Salama, 2006).

III.3.5. Domaines d'utilisation

L'ozone est utilisé pour la désinfection des eaux résiduaires, industrielles et agro-alimentaires. Le tableau 9 décrit les différents domaines d'application de l'ozone.

Tableau 9: domaines d'utilisation de l'ozone (Ozomax, 2009.)

Eaux résiduaires	Industriels / Agriculture	Alimentaire	Autres
• Domestique/ municipaux • Pâte a papier • Mines • Pharmaceutique • Textiles • Cuire • Pétrole/Pétrochimie • caoutchouc	• Tours de refroidissement • Eau d'échangeur de chaleur • Eau de refroidissement • Recyclage des liquides de découpage • Désinfection des granges • Effluents d'animaux • Traitement des eaux de boisson	• Tours de stockage des grains • Entrepôts de fruits et légumes • Stérilisation des contents • Lavage des œufs	• Odeurs • Semi-conducteurs • Buanderies • Stérilisation médicale • Stérilisation d'hôpitaux • Aquaculture • Blanchissement

III.3.6. Utilisation de l’ozone en aquaculture

L’ozone est utilisé en aquaculture pour plusieurs objectifs qui sont (Ozmotics, 2009):

Elimination des solides colloïdaux

Les colloïdes sont composés de petites particules solides leur permettant de rester en suspension dans l’eau et d’éviter la plupart des méthodes mécaniques de séparation. L'accumulation de matières solides fines et colloïdales peuvent colmater les bio-filtres de la nitrification et d’altérer l'efficacité des stocks de poissons.

Toutefois, l’ozone élimine les solides colloïdaux en causant leur agglutination par microfloculation. De ce fait l'enlèvement de la mousse est facilité lors du fractionnement, filtration et sédimentation.

Suppression des composés organiques dissous

Les composés organiques dissous donnent à l'eau une couleur caractéristique du thé taché. Ils ne sont pas biodégradables et s'accumulent en fonction de l'alimentation, du taux de recyclage de l’eau et du taux de matières solides. Ils peuvent provoquer des niveaux élevés de stress chez les poissons et réduire l'efficacité des bio-filtres de la nitrification.

L’ozone élimine les matières organiques dissoutes de différentes manières:

Par oxydation des produits qui sont déjà nitrifiés dans les bio-filtres.

Par précipitation qui permet l’enlèvement des particules par filtration ou sédimentation conventionnelles.

Suppression de Nitrite

Les nitrites peuvent s'accumuler au fur et à mesure que la production s'intensifie et les charges organiques sur le bio-filtre augmentent. Les bactéries transformant l'ammoniac en nitrites (*Nitrosomonas spp*) opèrent de façon plus efficace sous hautes charges organiques par rapport aux bactéries qui transforment les nitrites en nitrates (*Nitrobacter*). Par conséquent les niveaux de nitrite augmentent induisant ainsi une toxicité du milieu aquatique. Les données disponibles indiquent que des niveaux de nitrites aussi faibles que 2,8 ppm peuvent réduire la croissance de 5%.

Ozone élimine le nitrite par:

L'oxydation directe de nitrate.

Réduction de la charge organique, améliorant la bio-efficacité de la filtration et de la nitrification.

Désinfection

Les fortes densités d'élevage, le stress des poissons ainsi que l'augmentation de charges des éléments nutritifs dans le système de recirculation en aquaculture (SRA) crée un environnement idéal pour les agents pathogènes. Une étape importante dans la réduction du risque d'apparition de maladies dans le SRA qui est la mise en quarantaine de tous les poissons introduits. La désinfection des effluents des eaux avant leur introduction dans l'environnement est également essentielle pour prévenir le transfert de maladies exotiques.

L'ozone peut inactiver efficacement une gamme de bactéries, virus, champignons et protozoaires pathogènes pour les poissons. L'efficacité du traitement dépend de la concentration d'ozone, de la durée de l'exposition à l'ozone (temps de contact), des charges en agents pathogènes et des niveaux de matière organique. Si des niveaux élevés de matières organiques sont présents, la demande en concentration d'ozone pour leur oxydation augmente. Cependant, il est important de maintenir une quantité suffisante d'ozone résiduel afin d'obtenir une désinfection efficace.

III.3.7. Système d'ozonisation

Un système d'ozonisation comprend (figure 4)

Un générateur d'ozone

Un générateur d'oxygène

Un système de mélange eau oxygène

Un système de séparation des phases gaz-eau

Un système de destruction de l'ozone

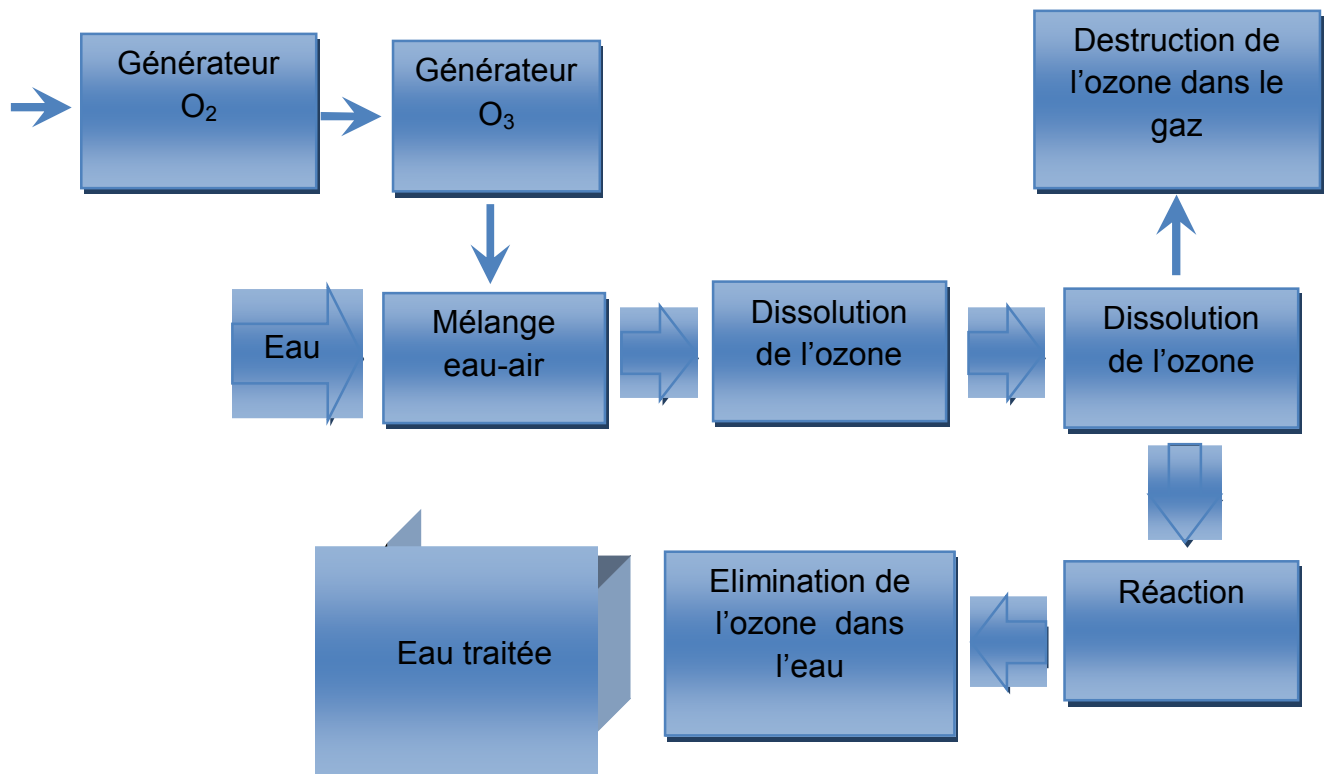


Figure 4: Schéma des différentes étapes d'ozonisation (E. Riboni, U. Moershell, 2007)

III.3.8. Protection contre l'exposition à l'ozone

L'ozone en excès est éliminé de deux manières (Amrishi, 2006), à savoir:

Par absorption du charbon activé ou l'aluminium:



Par destruction thermique ou aux Ultra-violet (longueur d'onde de 254 nm)



III.3.9. Comparaison entre l’ozone et d’autres désinfectants

Les différences existantes entre l’ozone le chlore et les ultra-violet sont représentées dans le tableau 10.

Tableau 10: comparaison chlore-ozone (Riboni, Moerschell, 2007).

Chlore	Ultra-violet	Ozone
▪ Investissement plus faible. ▪ Système simple. ▪ Dérivés dangereux. ▪ Présence de résidus dans l’eau.	▪ pas de stockage de produit chimique. ▪ aucun dérivé dans l’eau ▪ inactive mais n’élimine pas les bactéries. ▪ Les particules dans l’eau stoppent les rayons U.V. et diminue l’efficacité du traitement	▪ Pas de stockage. ▪ Consommation en énergie plus élevée. ▪ Oxydation très complète. ▪ Décomposition facile. ▪ Aucune membrane n’est résistante à l’ozone.

III.3.9. Avantages et inconvénients de l’ozone

Comme toutes techniques, l’ozonation a ses avantages et inconvénients qui sont résumés dans le tableau 11 suivant:

Tableau 11: Avantages et inconvénients de l’ozone (Amrishi, 2006)

Avantages	Inconvénients
• Plus efficace que le chlore, le dioxyde de chlore et chloramines contre les germes. • Exige un court temps de contact • Propriété décolorante et désodorisante. • transforme les composés organiques difficilement biodégradables en produit attaquant par les bactéries des bio-filtres.	• Perturbe la microflore des bio-filtres en augmentant la concentration en nitrite. • Coût du matériel. • extrêmement corrosif il doit y avoir des conditions d’exploitation spéciales. • Toxicité.

Conclusions et recommandations

Conclusions et recommandations

Ce projet de fin d'études avait comme objectif de faire une synthèse bibliographique sur l'aquaculture et sa biodiversité ainsi que sur les méthodes de traitements des eaux aquacoles. Cette synthèse nous a permis de déduire qu'il est primordial d'avoir des connaissances pertinentes dans le choix des poissons à produire en captivité, des méthodes d'élevages et des procédés des traitements des eaux d'aquaculture. L'ozonation des eaux d'aquaculture reste cependant une méthode efficace pour la préservation de l'environnement et de l'écosystème aquatique.

Peu de travaux de recherches en Algérie rapportent des synthèses bibliographiques sur l'utilisation de l'ozone dans le traitement des eaux d'aquaculture. De ce fait, Il est vivement recommandé de réaliser des études expérimentales dans ce domaine.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Amrish C.S., 2006:** Application of ozonated water technology for improving quality and safety of peeled shrimp meat. These de magistère. Gujarat Agricultural University, India, 111 pages.
2. **Barnabé G., 1989:** Aquaculture. Volume 1. Technique et documentation-Lavoisier, 2eme édition; pages : 2, 93, 94, 127.
3. **Billard R., 2005:** Introduction à l'aquaculture. Collection aquaculture-pisciculture; pages: 1, 29-39, 66.
4. **Bœuf G., 2002:** l'aquaculture dans le monde – Quel avenir?
5. **Burlot G., Buthon L., Davaine Y., Didri H., Pabiou T., Rafini M., Valingot C., 1998:** Référence Aquaculture. Edition synthèse agricole.
6. **Grimes S., 2003:** Biodiversité marine et littorale Algérienne. Djazaïr; page: 26.
7. **Karali A. et Echikh F., 2005:** L'aquaculture en Algérie, Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral ISMAL, 32 pages.
8. **Khadre MA., Yousef AE., Kim JG., 2001:** microbiological aspects of ozone applications in food:A review. Journal of food science—vol. 66, no. 9.
9. **Lavoisier, 1991 :** Ozone et ozonation des eaux.
10. **Lucas J S., Southgate P C., 2003:** Aquaculture farming aquatic animals and plants. Fishing news books ; page: 1.
11. **Ministère de la pêche et des ressources halieutiques, 2009:** Pisciculture intégrée à l'agriculture.
12. **Office of water, Washington, D.C., 1999:** Wastewater technology fact sheet, ozone disinfection. EPA 832-F-99-063.
13. **Ozmotics, 2009.** <http://www.ozmotics.com/ozone-applications/aquaculture.asp>
14. **Ozomax, Litée 2009.** <http://www.ozomax.com/>
15. **Petit J., 1991:** L'aquaculture: problème pour l'environnement. INRA production animal, 4(1) ,67-80.
16. **Salama A., 2000:** Ozone oxidation capabilities. Ozomax Ltd.

17. **Salama M., 2009:** Ozone Disinfection and Sterilization, A chemical-free technology. Ozomax Ltée.
18. **Sharrer MJ., Summerfelt ST., 2007:** Ozonation followed by ultraviolet irradiation provides effective bacteria inactivation in a freshwater recirculating system. Aquaculture Engineering 37, 180-191.
19. **Summerfelt T S., Hochheimer NJ., 1997:** Review of ozone processes and applications as an oxidizing agent in aquaculture. The progressive fish-culturist 59, 94-105.
20. **Tango MS., Gagnon GA., 2003:** Impact of ozonation on water quality in marine recirculation systems. Aquaculture Engineering 29,125-135.