

**Faculté des Sciences
Département de Chimie**

**Laboratoire de Recherche
Spectrochimie et Pharmacologie Structurale**

MEMOIRE DE MASTER EN CHIMIE

Spécialité : Chimie Physique et Analytique

Académique

Sujet :

Evaluation des teneurs des éléments traces des eaux et chez une espèce de poisson vivant dans le barrage Hammam Boughrara

Présenté par : *GHELLAI Imad Eddine*

Soutenu le : *28 juin 2015*

Membres de Jury :

	Noms et Prénoms	Grade à Université ABB Tlemcen
Président	<i>Mr. LARABI.L</i>	<i>Professeur</i>
Examineur	<i>Mr. SELLES.C</i>	<i>MCA</i>
Examineur	<i>Mr. ZIANI CHERIF.C</i>	<i>Professeur</i>
Examineur	<i>Mr. ABDELOUAHID.D.E</i>	<i>Professeur</i>
Encadreur	<i>Mr. DAHMANI.B</i>	<i>Professeur</i>

Année Universitaire 2014/2015

UNIVERSITE TLEMCEN
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE CHIMIE

LABORATOIRE DE SPECTROCHIMIE ET PHARMACOLOGIE STRUCTURALE

**Evaluation des teneurs des éléments traces des eaux
et chez une espèce de poisson vivant dans le barrage
Hammam Bouhrara**

Dédicaces

*Au nom de DIEU le Clément et le Miséricordieux Louange à ALLAH le Tout-puissant
En tout premier lieu, je remercie le bon DIEU, tout puissant, de m'avoir donné la force pour
survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.*

Je dédie ce modeste travail :

*Aux êtres les plus chers que j'ai au monde ; **Mes parents.***

*« Si je pouvais fleurir la terre de roses, si je pouvais illuminer le ciel entier
d'étoiles scintillantes, je ne saurais jamais vous rendre, même un peu le bonheur et la lumière
que vous avez toujours été dans ma vie».*

*A ma grande **famille***

*A tous mes **professeurs** qui m'ont transmis le meilleur de leur savoir.*

*A tous mes **collègues.***

*Quand il y a la soif d'apprendre
Tout vient à point à qui sait attendre*

La capacité d'apprendre est un don ;

La faculté d'apprendre est un talent ;

La volonté d'apprendre est un choix

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je ressens aussi bien la joie que le devoir de remercier tous ceux et toutes celles qui m'ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de la présente étude et qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à ma formation scientifique.

A mon encadreur,

A Mr. DAHMANI Professeur à l'université de Tlemcen, pour sa disponibilité, pour la confiance qu'il m'a accordé ainsi que pour ses précieux conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Au Président du Jury,

A Mr. LARABI Professeur à l'université de Tlemcen, qui m'a fait l'honneur de présider mon jury. Hommage respectueux,

A Mr SELLES Maître de conférences à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté d'être membre du jury de ce mémoire. Vifs remerciements.

A Mr ZIANI CHERIF Professeur à l'université de Tlemcen, pour m'avoir fait l'honneur de siéger dans le jury. Sincères remerciements.

A Mr ABDELOUAHID Professeur à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté d'être membre du jury de ce mémoire. Vifs remerciements.

Je vous remercie sincèrement les techniciens de laboratoire spectroscopie et pharmacologie structurale.

Afin de n'oublier personne, mes vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui nous ont aidés à la réalisation de ce modeste mémoire.

Sommaire

Introduction général.....	1
---------------------------	---

Partie I : synthèse bibliographique

I.	Généralité sur le barrage de hammam Boughrara	3
I.1.	Situation géographique et caractéristiques du site	3
I.2	Sources de pollution situées dans le bassin versant du barrage.....	3
I.2.1.	Pollution domestique.....	3
I.2.2.	Pollution industrielle.....	3
I.2.3.	Pollution agricole.....	4
I.2.4.	Pollution provenant du côté Marocain.....	4
II.	BIOLOGIE DE LA CARPE COMMUNE	5
II.1.	Productivité piscicole.....	5
II.1.1.	Choix du spécimen.....	5
II.1.2.	Composition chimique (valeur nutritive).....	6
II.2.	Taxonomie.....	6
II.2.1.	Systématique	6
II.3.	Morphologie.....	6
II.3.1.	Morphologie externe.....	6
II.4.	Anatomie interne.....	7
II.4.1.	Squelette.....	7
II.4.2.	Les muscles.....	7
II.5.	Nutrition.....	8
II.6.	Habitat.....	8
III.	La pollution par les métaux lourds	9
III.1.	Métaux lourds.....	9
III.1.1.	Généralité sur les métaux lourds.....	9
III.1.2.	Sources des métaux lourds.....	10
III.1.2.1.	Sources naturelles.....	10
III.1.2.2.	Sources anthropiques.....	10
III.1.3.	Les contaminants métalliques dans les organismes aquatiques	10
III.1.3.1.	Bioaccumulation et bioconcentration.....	11

III.2.	Les principaux métaux étudiés	11
III.2.1.	Le Fer (Fe).....	11
III.2.2.	Le nickel (Ni).....	12
III.2.3.	Le cuivre (Cu).....	12
III.2.4.	Le zinc (Zn).....	13
III.2.5.	Le cadmium (Cd).....	14
III.2.6.	Le plomb (Pb).....	15
IV.	La spectrométrie d'émission atomique par plasma à couplage inductif ICP-AES.....	16
IV. 1.	Le principe de l'émission atomique.....	16
IV.2.	Principe de l'ICP-AES	17
VI.2.1.	La source	17
IV.2.2.	Composition d'un spectromètre ICP-AES	18
VI.2.2.1.	Le système d'introduction de l'échantillon	19
IV.1.2.3.	Le système d'atomisation et d'excitation	21
IV.1.2.4.	Le système optique	24
IV.1.2.5.	Le système de détection	25
IV.1.2.5.	Spectre d'émission atomique	25
IV.1.2.6.	Les différentes interférences dans l'ICP-AES	26

Partie II : Echantillonnage et méthodes d'analyse

I.	Présentation du site d'étude	28
II.	Les paramètres physico-chimiques mesurés.....	28
II.1.	Température	28
II.2.	La Conductivité.....	29
II.3.	pH (le potentiel d'hydrogène)	29
II.4.	Métaux traces	29
III.	METHODES ET MATERIELS	30
III.1.	Sites des prélèvements des échantillons d'eau	30
III.1.1.	Procédure de prélèvement	30
III.1.2.	Matériels de prélèvement	30

III.2.	La pêche des poissons	31
III.2.1.	Choix du site	31
III.2.2.	Choix du matériel biologique.....	31
IV.	TRAVAIL AU LABORATOIRE	32
IV.1.	Mensuration et pesé	32
IV.2.	La dissection	32
IV.2.1.	Protocole de dissection	32
IV. 3.	Appareillage et réactifs	33
IV.3.1.	Préparation de verrerie	33
IV.4.	Minéralisation des échantillons	33
IV.5.	Analyse des éléments par ICP-OES	36
IV.5.1.	Principe de la technique utilise.....	36
IV.5.2.	Etalonnage	36
IV.5.3.	Mise en forme des échantillons avant l'analyse	39
IV.5.4.	Mesure de concentration	39
PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS		
I.	Résultats	39
I.1.	Courbes d'étalonnages	39
I.2.	Analyse des eaux	41
I.2.1.	Les analyses physicochimiques de l'eau	41
I.2.2.	Concentrations des éléments métalliques dans les eaux de Barrage Hammam Boughrara.....	42
I.3.	Dosage des métaux dans les poissons	43
II.	Commentaires et Discussions	46
II.1.	Propriétés physicochimiques	46
II.1.1.	Température	46
II.1.2.	pH (potentiel d'hydrogène).....	46
II.1.3.	Conductivité électrique	46
II.2.	Analyse des métaux dans les eaux.....	46

III.3.	Bioaccumulation des métaux dans les poissons	48
IV.	Étude statistique des trois échantillons de poissons par organe.....	51
	Conclusion général et perspectives.....	53
	Bibliographie.....	55
	Annexe.....	

Liste des figures

Liste des Figures

Figure 01 :	<i>Situation du bassin versant barrage de Hammam Bouhrara (Tlemcen).....</i>	4
Figure 02 :	<i>Morphologie externe de la carpe commune.....</i>	7
Figure 03 :	<i>Schéma de l'organisation interne d'un poisson omnivore, la carpe (Cyprinus carpio).....</i>	8
Figure 04 :	<i>Schéma de principe de l'excitation et de l'émission.....</i>	17
Figure 05 :	<i>photographie d'un plasma d'argon.....</i>	18
Figure 06 :	<i>Schéma de l'appareillage d'un spectromètre ICPAES.....</i>	18
Figure 07 :	<i>Photographie représentant le système d'introduction de l'échantillon.....</i>	19
Figure 08 :	<i>Photographie d'une pompe péristaltique.....</i>	19
Figure 09 :	<i>Schéma d'un nébuliseur concentrique</i>	20
Figure 10 :	<i>Photographie d'une chambre cyclonique.....</i>	21
Figure 11 :	<i>Photographie d'une chambre à rotation verticale.....</i>	21
Figure 12 :	<i>Schéma représentant les différents processus lors de l'atomisation et l'excitation.....</i>	21
Figure 13 :	<i>Schéma représentant le chemin emprunté par les différents constituants du plasma dans la torche.....</i>	22
Figure 14 :	<i>Schéma représentant la formation d'un plasma au sein de la torche.....</i>	23
Figure 15 :	<i>Schéma représentant la visée latérale et la visée axiale en ICP-AES.....</i>	24
Figure 16 :	<i>Schéma de principe du système optique à dispersion croisée.....</i>	25
Figure 17 :	<i>Schéma de principe d'un détecteur à tube photomultiplicateur.....</i>	25
Figure 18 :	<i>Pic du Zinc à longueur d'onde de 202.548 nm.....</i>	26

Figure 19 :	<i>Pic présentant une interférence spectrale.....</i>	27
Figure 20 :	<i>Situation du Barrage Hammam Boughrara (Google Earth 2015).....</i>	28
Figure 21	<i>Barrage Hammam Boughrara.....</i>	28
Figure 22 :	<i>Sites des prélèvements des échantillons de l'eau (Google Earth 2015).....</i>	30
Figure 23 :	<i>Site de pêche des échantillons de poissons (Google Earth 2015).....</i>	31
Figure 24 :	<i>Poissons (carpe) pêchées à partir du barrage hammam Boughrara.....</i>	31
Figure 25 :	<i>poisson la carpe (ciprinus carpio) pêchée.....</i>	32
Figure 26:	<i>la balance utilisée pendant la manipulation.....</i>	34
Figure 27 :	<i>Le four utilisé pendant la calcination.....</i>	34
Figure 28 :	<i>L'étuve utilisée pour le séchage des échantillons.....</i>	35
Figure 29 :	<i>La filtration des échantillons après la minéralisation.....</i>	35
Figure 30 :	<i>L'ICP-OES utilisé.....</i>	36
Figure 31 :	<i>L'étalon multi-élémentaire utilisé.....</i>	37
Figure 32	<i>Solutions des étalons préparés.....</i>	38
Figure 33 :	<i>Courbe d'étalonnage du cadmium (première gamme d'étalons).....</i>	39
Figure 34 :	<i>courbe d'étalonnage du strontium (première gamme d'étalons)</i>	40
Figure 35 :	<i>Courbe d'étalonnage du Nickel (la deuxième gamme d'étalons).....</i>	40
Figure 36:	<i>Courbe d'étalonnage du Plomb (la deuxième gamme d'étalons).....</i>	40
Figure 37 :	<i>Teneurs des métaux dans les trois parties étudiés du poisson n°01.....</i>	49
Figure 38 :	<i>Teneurs des métaux dans les trois parties étudiés du poisson n°02.....</i>	50

Figure 39 : *Teneurs des métaux dans les trois parties étudiés du poisson n°03.....* 50

Liste des tableaux

Tableau 01	: Valeur alimentaire de poisson d'eau douce (Carpe commune).....	6
Tableau 02	: Caractéristiques des carpes pêchées.....	32
Tableau 03	: les quantités prélevées de la solution mère pour la préparation des étalons de la première gamme.....	37
Tableau 04	: les quantités prélevées de la solution mère pour la préparation des étalons de la deuxième gamme.....	38
Tableau 05	: Longueurs des ondes des éléments chimiques servant du dosage par Spectrophotométrie d'émission optique par plasma d'argon.....	38
Tableau 06	: Les paramètres expérimentaux de l'ICP-OES utilisé.....	39
Tableau 07	: Coefficients de régressions des courbes d'étalonnages des éléments (Cd, Sr, Ni, Pb).....	41
Tableau 08	: Les analyses physicochimiques des échantillons de l'eau de barrage.....	41
Tableau 09	: Concentrations (mg/L) des éléments traces dans les eaux de surface du barrage.....	42
Tableau 10	: concentrations (mg/L) des éléments majeurs dans les eaux du barrage.....	42
Tableau 11	: Concentration des métaux (mg/Kg) trouvez dans le poisson n°01.....	43
Tableau 12	: Concentration des métaux (mg/Kg) trouvez dans le poisson n°02.....	44
Tableau 13	: Concentration des métaux (mg/Kg) trouvez dans le poisson n°03.....	45
Tableau 14	: Tableau : Teneur en métaux des muscles de poissons (Moyenne±SD).....	50
Tableau 15	: Tableau : Teneur en métaux des abats rouges de poissons (Moyenne±SD).....	51
Tableau 16	: Tableau : Teneur en métaux des squelettes de poissons (Moyenne±SD).....	52

Abréviations :

- E.C** : *European community.*
- E.C.V.O** : *Entreprise de céramique vaisselle.*
- E.N.C.G** : *Entreprise national du corps gras.*
- E.N.O.F** : *Entreprise des produits miniers non ferreux et des substances utiles.*
- E.R.I.A.D** : *Entreprise des industries alimentaires et dérivés.*
- E.T.M** : *Elements en traces métallique.*
- e.v** : *electron volt.*
- F.A.O** : *Food and agriculture organization of the united nations.*
- ha** : *Hectare.*
- Hm³** : *Hectomètre cube.*
- ICP-AES** : *Inductively Coupled Plasma –Atomic Emission Spectrometry.*
- ICP-OES** : *Inductively Coupled Plasma –Optical Emission Spectrometry.*
- W.H.O** : *World health organization.*
- kPa** : *kiloPascal.*
- N.R.C** : *National research council (Canada).*
- O.M.S** : *Organisation mondiale de la santé.*
- P S** : *Poids sèche.*

Nomenclature

Al : *Aluminum.*

Ar⁺ : *Ion argon.*

B : *Bore.*

c : *La vitesse de la lumière ($c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).*

CaF₂ : *Fluorure de calcium.*

Cd : *Cadmium.*

Co : *Cobalt.*

Cr : *Chrome.*

Cu : *Cuivre.*

Fe : *Fer.*

h : *Constante de Planck ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$).*

HCl : *Acide chlorhydrique.*

HNO_3 : *Acide Nitrique.*

K : *Potassium.*

Mg : *Magnesium.*

Mn : *Manganese.*

Na : *Sodium.*

Ni : *Nickel.*

Pb : *Plomb.*

Sr : *Strontium.*

Zn : *Zinc.*

ν : *Fréquence du rayonnement lumineux.*

λ : *Longueur d'onde du rayonnement lumineux.*

Ω : *Ohm.*

Introduction

Introduction générale:

La demande en eau dans le monde ne cesse d'augmenter, sans eau il n'y a pas de vie sur notre planète. Elle est notre source la plus précieuse. En effet les pays ne peuvent se passer de la contribution des barrages réservoirs pour l'utilisation des ressources en eau.

L'Algérie a vécu plus d'une décennie de sécheresse. Les ressources conventionnelles en eau étaient insuffisantes pour subvenir aux besoins dans les régions importantes à forte densité de population. Elle fait encore face aujourd'hui à des difficultés en matière d'alimentation en eau potable. Pendant les dernières années, l'action des planificateurs et des législateurs dans le secteur de l'eau a essentiellement porté sur la réalisation de grandes infrastructures, tels que les barrages ou transferts d'eau plutôt que sur la gestion de la ressource ou le renforcement institutionnel. Les barrages servent à l'irrigation des périmètres agricoles, à l'alimentation en eau potable, à la production d'électricité, aux loisirs et à l'élevage des poissons d'eau douce.

L'Algérie a mis en place ces dernières années, un vaste programme de recherche et de développement de l'aquaculture. Il a nécessité l'introduction de nombreuses espèces indicatrices de la pollution destinées à peupler ou à repeupler les plans d'eau existant (barrages, retenues collinaires, étangs) [1].

Un grand danger se présente suite à des activités humaines intenses pour des raisons économiques et stratégiques. Les rejets de nombreux produits chimiques par les industries, l'agriculture et les communautés urbaines ont contaminés les écosystèmes aquatiques. La protection des barrages contre la pollution est un point important qui a attiré notre attention.

La pollution métallique a un impact sur les espèces aquatiques. Les métaux lourds ne sont pas biodégradables et la plupart d'entre eux ont des effets toxiques sur les différents organismes. Ils s'accumulent dans la chair des poissons qui peuvent être pêchés et consommés par l'homme dernier maillon de la chaîne alimentaire.

A ce titre, nous avons choisi la carpe, un poisson d'eau douce (*ciprinus carpio*), qui est une espèce répandue dans le barrage de hammam Boughrara.

C'est un excellent poisson d'élevage, consommé par une grande partie de la population et aussi c'est une espèce indicatrice de la pollution [2].

L'objectif de cette étude est d'identifier les métaux dans les eaux de barrage Hammam Boughrara et d'évaluer le taux de quelques métaux lourds dans des échantillons de la petite carpe *ciprinus carpio*.

Ce travail est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre est une synthèse bibliographique, il est divisé en quatre parties. Dans la première partie, nous avons défini la zone d'étude. La deuxième partie est une étude générale sur la biologie et l'écologie de la carpe commune *ciprinus carpio*. La troisième partie concerne la pollution en générale et leurs influence sur la biotope, la dernière partie de ce chapitre est réservée pour la description de la technique analytique utilisée ICP -AES.

Le second chapitre présente l'échantillonnage, matériel et méthodes, les différentes démarches expérimentales.

Le dernier chapitre nous avons présenté nos résultats, nous les avons discutés.

Enfin, une conclusion générale achève ce travail.

PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralité sur le barrage de hammam Bouhrara

I.1. Situation géographique et caractéristiques du site

Le barrage de Hammam Bouhrara (mise en eau en 1999) est situé sur la confluence d'oued Mouillah avec oued Tafna à 10 km en aval de la ville de Maghnia et à l'extrême Nord-Ouest de la Wilaya de Tlemcen (Nord-Ouest Algérien). Il appartient au bassin versant de l'oued Mouillah, dont la superficie (largement partagée avec le Maroc) est de 2000 km² (Fig.01). Ce bassin est limité par un périmètre de 241 km et composé dans sa majorité par les plaines d'Angad (située à Oujda en territoire Marocain) et celle de Zrigua (située à Maghnia en territoire Algérien).

Ce réservoir est destiné à satisfaire les besoins en eau potable des villes d'Oran (33Hm³) et de Maghnia (17 Hm³). Par ailleurs, 09 Hm³ sont prévus pour l'irrigation de la moyenne Tafna. Il est caractérisé par une capacité totale de 177 Hm³, un volume régularisé de 59 Hm³ et une superficie de 984 ha [3].

La région étudiée est caractérisée par un climat semi-aride à hiver tempéré où les précipitations moyennes annuelles sont de 325 mm, la température moyenne annuelle est de 18,5°C et l'évapotranspiration potentielle de 1167 mm (O.N.M, 2012). Les apports liquides mensuels sont très variables avec des moyennes maximales enregistrées au mois de novembre (6,29 Hm³) et minimales au mois de juin (0,8 Hm³). [4]

I.2.Sources de pollution situées dans le bassin versant du barrage [4] :

I.2.1.Pollution domestique :

Généralement, cette pollution est due aux rejets d'eaux usées domestiques de toutes les villes et agglomérations se trouvant dans la partie algérienne du bassin versant, à savoir, les communes de Maghnia, Hammam Bouhrara, Sidi Medjahed et Bouhlou.

Une station d'épuration, de capacité totale de 150.000 équivalents habitants, a été réalisée afin de traiter les eaux usées de la ville de Maghnia. De nos jours, l'épuration des effluents domestiques est totalement maîtrisée.

I.2.2.Pollution industrielle :

Les effluents industriels proviennent de 04 entreprises:

L'E.N.O.F : Entreprise des produits miniers non ferreux et des substances utiles. Elle produit la terre décolorante ainsi que la bentonite de fonderie. Tous ces rejets se font dans l'oued Ouerdifou.

L'E.N.C.G : Complexe de corps gras. Il produit de l'huile, du savon et de la glycérine. Les rejets se font dans l'oued Abbès (affluent de l'oued Ouerdifou).

L'E.R.I.A.D : Entreprise des industries alimentaires et dérivés. L'unité fabrique des produits dérivés de maïs. Elle rejette 600 m³/j d'eaux chargées en gluten dans l'oued Abbès.

L'E.C.V.O : Entreprise de céramique vaisselle. Elle rejette 130 m³/j d'eaux très chargées en minéraux dans l'oued Abbès.

I.2.3. Pollution agricole :

Les activités agricoles dans le bassin versant étudié sont essentiellement implantées dans le périmètre irrigué de Maghnia et plus particulièrement dans la plaine d'Angad.

Les sources de pollution majeures découlant de ces activités sont : L'épandage d'engrais, le traitement des sols, des végétaux et l'élevage, en particulier, avicole.

I.2.4. Pollution provenant du côté Marocain :

Cette pollution est engendrée par les eaux usées urbaines et industrielles provenant de la ville marocaine d'Oujda, déversées directement dans l'Oued Bounaïm, principal affluent de l'Oued Mouillah, sans aucun traitement préalable.

Vu le manque de données et la difficulté d'en avoir, une estimation ou même une idée sur la qualité et la quantité des rejets industriels du côté Marocain s'avère impossible.

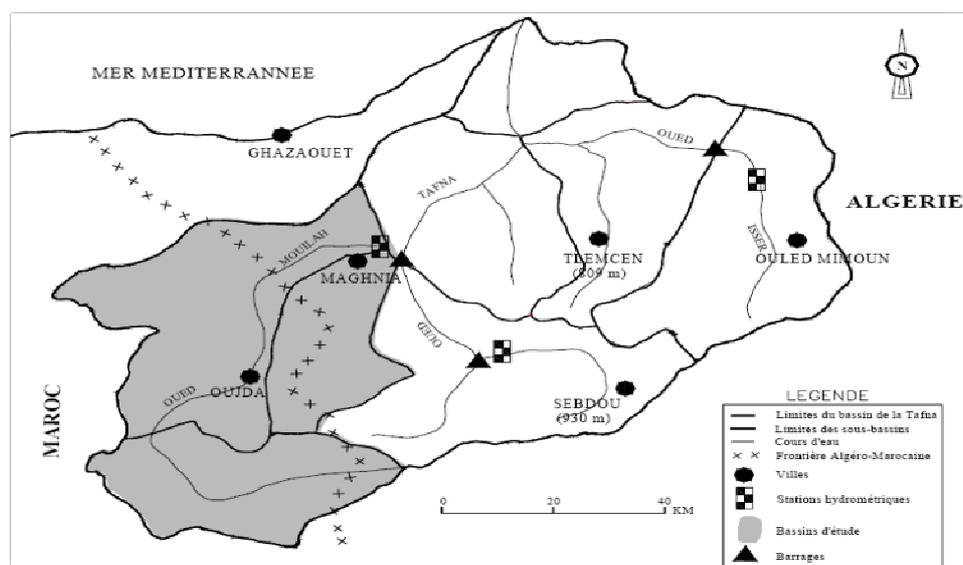


Figure 01: Situation du bassin versant barrage de Hammam Boughrara (Tlemcen).

II .BIOLOGIE DE LA CARPE COMMUNE :

Les poissons forment un groupe biologique très riche et très varié qui peut contenir plus de 25000 espèces [5]. Ils sont les premiers vertébrés apparus au Cambrien, il y a plus de 505 à 550 millions d'année [6].

Les poissons qui vivent dans les eaux douces, sont environs 52 espèces au Maghreb dont 20 espèces environ en Algérie, reformés dans 21 genres et 14 familles.

En Algérie ces poissons peuplent les Oueds, les rivières, les lacs, les barrages, ils appartiennent systématiquement à la classe des Ostéichtyens, la sous classe des Actinoptérygiens et au Super Ordre des Téléostéens. Ce dernier regroupe la quasi-totalité des espèces actuelles [6].

Dans la wilaya de Tlemcen, les poissons d'eau douce sont assez rares, on les retrouve globalement dans les barrages, dont la plus connue "la carpe commune" qui peut utiliser toutes les niches écologiques du milieu, tolérant des températures entre 18 et 30°C. C'est un animal qui peut s'adapté et résisté aux changements climatiques de notre région.

II.1.Productivité piscicole:

Originellement, la carpe est un poisson asiatique qui vivait dans les rivières du Sud-est de l'Europe et de l'Asie, puis elle s'est étalée dans une grande partie du globe suite à des introductions volontaires ou accidentelles. La carpe commune est l'un des poissons les plus répandus dans les rivières [7].

II.1.1.Choix du spécimen:

En Algérie, les zones humides notamment constituent les principales zones où les poissons sont exploités pour leurs richesses nutritionnelles. Selon, il n'y a pas de petite surface d'eau convenable qui ne puisse être utilisée pour la production des poissons.

En terme piscicole, la production sera la qualité et la quantité des poissons réellement produite dans une unité de temps, et de surface. La productivité sera donc la potentialité de production d'un milieu [8].

La carpe est un excellent poisson d'élevage, en raison de son caractère économique par rapport aux autres productions, les Cyprinidés peuvent constituer des communautés piscicoles dans les barrages et utilisés dans l'élevage par ses caractéristiques d'adaptation à

une large gamme de température, à une forte fluctuation d'oxygène dissous et sa courte chaîne trophique.

II.1.2. Composition chimique (valeur nutritive):

La chair des poissons présente à peu près la même composition que les viandes. Ils renferment des protéines et la majorité des acides aminés indispensables.

Tableau 01 : Valeur alimentaire de poisson d'eau douce (Carpe commune).

Espèce	Carpe commune
Compositions	
Eau	76-77%
protéines	21-22%
Lipides	1%
Sels minéraux	1.33%

II.2. Taxonomie:

La carpe appartient à l'ordre des Cypriniformes, c'est l'un des ordres les mieux représentés dans le monde avec 5 familles, pour 275 genres et environs 2662 espèces [10].

II.2.1. Systématique :

La carpe commune appartient à l'embranchement des Vertébrés et à la classe des Ostéichtyens, elle fait partie de la famille des Cyprinidés.

II.3. Morphologie:

II.3.1. Morphologie externe:

Les poissons ont un corps ovale, à peau couverte d'écaillés cycloïdes plus ou moins grandes [11]. La tête des poissons porte les yeux, la bouche et les narines, les yeux n'ont généralement pas de paupières. La bouche est terminale ou située à la face ventrale de la tête (hotu, soffie); dans ce dernier cas, le museau est proéminent et porte quelque fois le nom de rostre.

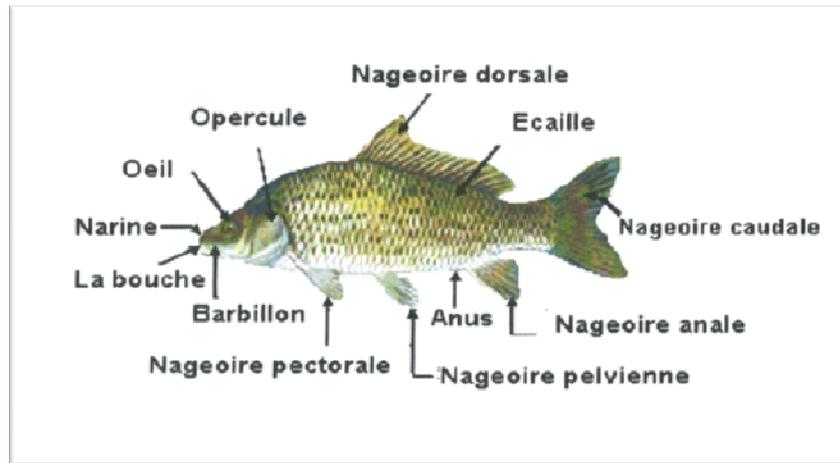


Figure 02 : Morphologie externe de la carpe commune.

II.4. Anatomie interne:

Après avoir rapidement examiné ce qui est visible, il convient par dissection, de se familiariser avec les grandes lignes.

II.4.1. Squelette:

Les écailles d'un poisson constituent son squelette dermique. Le squelette interne osseux de la plupart des poissons se compose d'un crâne portant les mâchoires, d'une colonne vertébrale, des côtes et une série d'os qui soutiennent les nageoires. De petits os sont souvent répartis dans les muscles: ce sont les arrêtes [12].

Le squelette de la tête comprend celui du crâne qui protège les centres nerveux et celui de la face qui forme les mâchoires et soutient l'appareil branchial.

Les autres os du tronc, séparés de la colonne vertébrale, sont les supports des nageoires et leur relation avec le squelette.

Les os des nageoires sont des rayons plus ou moins osseux [13].

II.4.2. Les muscles :

Les principaux muscles du corps d'un poisson sont disposés sur les côtés le long du tronc et de la queue. La plus grande masse musculaire court le long du dos, de chaque côté de la moelle épinière. Elle se compose d'une série de segments emboîtés. Lors de la nage ordinaire, la contraction successive des segments musculaires d'avant en arrière et alternativement de chaque côté donne à l'ensemble du corps (et surtout à la nageoire

caudale) un mouvement d'ondulation. De petits muscles commandent les mouvements de la bouche, des branchies, des nageoires et des yeux [12].

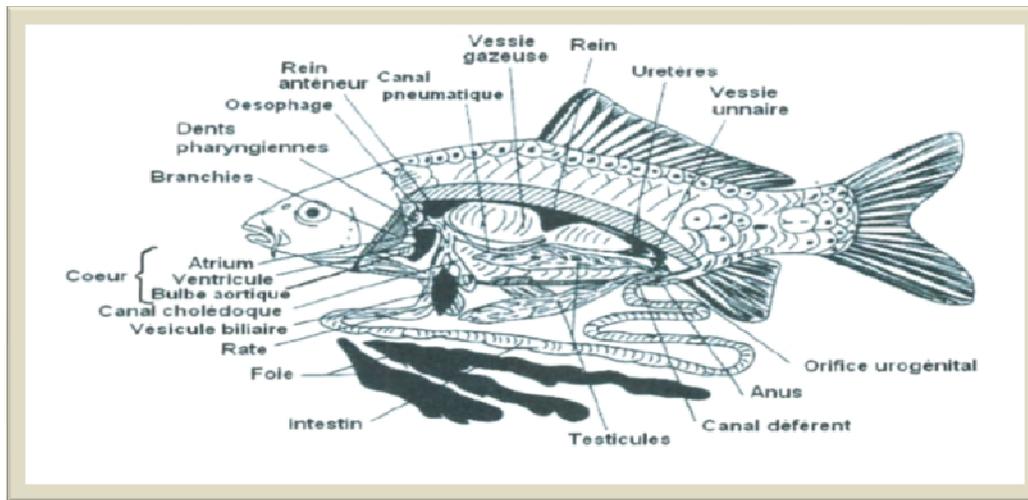


Figure 03: Schéma de l'organisation interne d'un poisson omnivore, la carpe (*Cyprinus carpio*)

II.5. Nutrition:

Concernant l'alimentation, la carpe est une espèce omnivore, opportuniste et benthophage. Elle fouille jusqu'à 15cm au fond vaseux [14].

Le régime alimentaire est extrêmement diversifié, les Cyprinidés s'alimentant à tous les niveaux trophiques: végétaux supérieurs, phytoplancton, zooplancton, zoobenthos, bactérie fixées sur des détritux divers. Un grand nombre de caractères morphologiques et physiologiques sont liés à cette diversité et versatilité dans le régime alimentaire aidant à la capture, la réduction et la digestion des proies [15].

La nourriture consiste en Puces d'eau, larves de Diptères et autres Insectes aquatiques, de Vers et de divers petits Mollusques. Des graines de plantes ou des algues sont comprises dans la nourriture. Occasionnellement, la Carpe mange des grenouilles, des épinoches ou des alevins [1].

II.6. Habitat:

Espèce caractéristique des eaux stagnantes ou à courant lent, riche en végétation et à fond de vase [7]. Aimant l'eau calme des étangs, des canaux et des fosses profondes des rivières

lentes, elle ne dédaigne pas, durant les grandes chaleurs d'août, les courants assez vifs où l'eau glisse rapidement sur les roches [16].

La Carpe affectionne les eaux calmes et chaudes, riches en végétation aquatique. Elle se plaît aussi dans les eaux stagnantes des étangs [17].

Selon [1], la carpe résiste au milieu pollué. C'est un poisson d'eau chaude ou la température optimale oscille entre 20 et 28°C. La teneur en oxygène dissous est de l'ordre 0,5mg/L. Ils supportent aussi de fortes et rapides fluctuations thermiques [15].

III. La pollution par les métaux lourds

III.1.Métaux lourds:

III.1.1. Généralité sur les métaux lourds:

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, retrouvés dans l'eau sous forme dissoute, particulière ou complexée, mais en général en quantités très faibles, ils sont absorbés ou adsorbés par les sédiments ou transformés par les bactéries. Les métaux lourds sont présents aussi dans l'environnement sous forme de traces (mercure, plomb, cadmium, cuivre, zinc, cobalt, nickel, manganèse...) [18].

Les éléments sont dits traces lorsque leur concentration est inférieure à un pour mille dans la croûte terrestre, ou 0,1 pour mille dans les êtres vivants (<100 mg/kg matière sèche). [1].

Les métaux lourds sont les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g /cm³. Les plus dangereux et les plus répandus sont: le mercure, le cadmium, le chrome, le plomb [1].

Ces polluants sont dotés de propriétés chimiques particulières qui leur confèrent une toxicité aussi bien vis-à-vis de l'être humain qu'à l'égard des organismes vivants du règne animal et végétal [19].

Quant aux leurs rôles biologiques au niveau de l'organisme, ils peuvent être classés en 2 groupes distincts:

- les métaux essentiels ou oligo-éléments, tous les métaux qui ont une utilité dans les processus biologiques et présentent un rôle biologique dans l'organisme, certains sont même indispensables à la vie (le fer, le cuivre, le zinc, le cobalt, le nickel, vanadium, le chrome, manganèse, molybdène, sélénium et étain), ce sont des métaux à masse atomique moins élevée mais qui deviennent vite toxiques quand leurs concentrations augmentent.

Ces éléments rentrent dans les réactions biochimiques de la matière vivante et ont ainsi un rôle nutritionnel [1].

- les métaux non-essentiels ou métaux toxiques sans intérêt biologique pour les organismes, ne rentrent pas dans les processus métaboliques, présentent une certaine toxicité pour l'homme, entraînent notamment des lésions neurologiques plus ou moins graves, ingérés à des doses infimes, ils sont toxiques tels que le plomb, mercure, cadmium, ect....

Ils provoquent une désorganisation au niveau cellulaire, car ils exercent souvent leur nocivité par l'inhibition du système enzymatique [1].

III.1.2. Sources des métaux lourds:

. Sources naturelles:

Les métaux se trouvent dans tous les écosystèmes naturels et à tous les niveaux, dans le milieu aquatique (Peau salée et l'eau douce), dans les roches et chez la communauté animale et végétale.

Parmi les importantes sources naturelles: citons les activités sismiques et volcaniques, l'érosion, les incendies de forêts, les rivières et les fleuves, le lessivage des sols côtiers et l'altération des continents [1].

. Sources anthropiques:

Il existe trois sources principales de métaux lourds:

- apports d'origine agricole (amendements organiques, engrais minéraux, pesticides),
- résidus industriels et urbains,
- retombées atmosphériques [20].

Selon **GROUSSET et DONARD (1989)**, ces métaux, se trouvant sous formes dissoutes et particulières, sont assimilés par les organismes marins. Il représente un danger plus important que les rejets d'hydrocarbures ou mêmes d'éléments radioactifs [21].

III.1.3. Les contaminants métalliques dans les organismes aquatiques :

L'intérêt des bioindicateurs réside dans le fait qu'ils permettent de révéler la présence d'un déséquilibre au sein de l'écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible ses modifications naturelles, ou provoquées. Une bonne connaissance de la biologie des espèces (mode de vie, stratégie de nutrition, reproduction, croissance...) est une condition essentielle à leur sélection comme bioaccumulateurs [22].

Les espèces choisies pour réaliser ce type de surveillance, doivent satisfaire à un certain nombre de critères :

- La sédentarité pour représenter la région où ils se développent.
- Une durée de vie compatible avec les variations temporelles que l'on souhaite mesurer.
- Une large répartition géographique, une abondance, présence tout le long de l'année et une grande taille pour offrir suffisamment de tissus pour les analyses.
- Un pouvoir d'accumulation vis-à-vis de la substance considérée. Une facilité de prélèvement.

III.1.3.1. Bioaccumulation et bioconcentration:

Phénomène par lequel une substance, présente dans un biotope, pénètre dans un organisme, même si elle n'a aucun rôle métabolique [1]

Certains organismes peuvent, en effet, absorber des polluants présents dans le milieu, comme les métaux lourds, et les accumuler dans certains tissus ou certains organes, à des concentrations parfois bien supérieures à celles observées dans le milieu extérieur.

Les organismes ayant concentré des polluants entrent ensuite dans la chaîne trophique. Si le produit n'est pas dégradé ou éliminé, il va se concentrer de plus en plus à chaque niveau de la chaîne trophique.

La bioamplification est le phénomène par lequel une substance naturelle ou un contaminant présent dans le biotope connaît un accroissement de sa concentration au fur et à mesure qu'il circule dans les êtres vivants d'une même chaîne alimentaire [1].

En effet, à l'inverse des polluants organiques, les métaux lourds sont peu métabolisés. Ils peuvent donc être transférés dans le réseau trophique et accumulés dans la matière vivante [23].

III.2. Les principaux métaux étudiés :

III.2.1. Le Fer (Fe) :

Élément métallique blanc argenté de symbole Fe et de numéro atomique 26, connu depuis les temps préhistoriques. Le fer pur a une densité comprise entre 4 et 5; il est mou, malléable et ductile. Il était utilisé dans la fabrication d'objets décoratifs et d'armes en tous genres.

Le fer est parmi les éléments métalliques les plus fréquemment rencontrés dans l'eau [24]. Il provient de la lixiviation des terrains traversés, des minéraux argileux, et exclusivement des rejets industriels [1].

Corps biogène dont l'isotope le plus abondant est un oligo-élément indispensable à tous les êtres vivants. Associé à un noyau tétra pyrrolique, il intervient dans la constitution des molécules d'hémoglobines ainsi que de plusieurs enzymes en particulier des cytochromes dont le rôle est essentiel tant dans la respiration que dans la photosynthèse. [1].

Effet du fer:

Le fer élément essentiel de la nutrition humaine. Les besoins journaliers sont de 1 à 2 mg . L'ingestion de grandes quantités de fer produit une hémochromatose, dans cette affection, les mécanismes normaux de régulation n'agissent plus efficacement et il se produit des lésions de tissus par suite d'accumulation de fer [1].

En milieu alcalin, il y a formation d'hydroxyde ferrique colloïdal qui peut se fixer sur les branchies des poissons; en milieu anaérobie, le sulfure ferreux donne une couleur noire [25].

Elément indispensable à la photosynthèse et la respiration, qui peut être un facteur limitant de la production, pas de toxicité directe [25].

III.2.2. Le nickel (Ni) :

Ce métal a été découvert en 1771, il est blanc généralement jaunâtre, brillant inoxydable, dur et ferromagnétique, sa conductivité électrique est faible [1].

Dans l'environnement, le nickel existe sous forme inorganique, c'est un métal mobile dans les eaux naturelles et soluble surtout à des valeurs de pH élevées [1].

Le nickel est souvent associé au Fe, Cu, Cr et Co dans les minerais de zinc. Il existe des minerais sulfurés (65 % de la production) avec une teneur en nickel de 0.7 à 3 %. Et des minerais oxydés (35 % de la production) contenant 1 à 3 % de nickel [1].

Effet du nickel :

La toxicité humaine résulte généralement d'une prise très élevée de nickel (USPHS, 2000). Dans l'exposition à long terme, il présente un risque de fibrose pulmonaire et de cancer du poumon ou des voies aéro-digestives supérieures. Il est aussi sensibilisant induisant des réactions allergiques cutanées [1].

La toxicité du nickel pour les organismes marins est considérée comme faible. Des effets sur la reproduction des bivalves ont été observés à des concentrations supérieures à 300.µg /L [1]. Une toxicité pour des doses de 1 mg/L est enregistrée chez les algues et les poissons [25].

III.2.3. Le cuivre (Cu) :

Le cuivre est un métal rouge bleuâtre, ductile et malléable. Élément chimique métallique de symbole Cu, de numéro atomique 29, fond vers 1038°C et possède une densité de 8,9.

Les teneurs naturelles en cuivre dans l'eau de mer sont d'environ 50 mg/l [25]. La valeur limite du cuivre dans l'eau de mer selon la Communauté Européenne est d'environ 1 mg/L [26].

Le cuivre est un élément essentiel chez l'homme et l'animal. Il est impliqué dans de nombreuses voies métaboliques, notamment pour la formation d'hémoglobine. De plus, il est un cofacteur spécifique de nombreuses enzymes et métalloprotéines de structure intervenant dans un métabolisme oxydatif, la respiration cellulaire et la pigmentation [31].

Effet du cuivre:

Selon GAUJOUS (1995), le cuivre diminue l'activité photosynthétique (utilisé comme algicide), provoque une altération des branchies de poissons, retarde la ponte des poissons. Il provoque aussi le verdissement des huîtres [25].

Dans les conditions normales, le cuivre ingéré est absorbé par l'estomac. La plus grande partie sera retenue par les tissus (90%) et accessoirement par les reins, la sueur et la salive [27].

Une ingestion importante de cuivre provoque une gastro-entérite, une hépatite toxique [28]. D'autres modifications dégénératives du foie apparaissent également chez l'animal [1].

III.2.4. Le zinc (Zn) :

Le zinc est un élément métallique bleuâtre de symbole Zn. Il est de numéro atomique 30, insoluble dans l'alcool et les acides, il est extrêmement fragile aux températures ordinaires, mais devient malléable entre 120 et 150°C, il fond vers 420°C, à une densité de 7.14 [1].

Le zinc se trouve généralement dans la nature sous forme de sulfure. Il est souvent associé avec des sulfures des métaux particulièrement le plomb, le cuivre, le cadmium et le fer. Dans les roches sédimentaires, le zinc se rencontre surtout dans les schistes. Il se trouve en partie sous forme de Zn₂ adsorbé sur les matériaux à fine granulométrie et en partie dans la structure des minéraux argileux [1].

Le zinc est indispensable au métabolisme des êtres vivants (oligo-éléments), en particulier comme coenzyme [1]. Il assure le bon fonctionnement de plus de 200 enzymes de l'organisme [1].

Effet du zinc:

Pour la vie aquatique, le zinc présente une toxicité aiguë sur la plupart des organismes à partir de quelque mg /L [25].

Il inhibe la photosynthèse des plantes vertes, du phytoplancton et des algues macrophytes, à partir d'une concentration dans l'environnement variable selon l'espèce considérée. Il ralentit la croissance des végétaux dans les sols où il se rencontre en excès [1].

Il provoque diverses lésions tissulaires, en particulier chez les invertébrés aquatiques et chez les poissons. Il retarde également la croissance et perturbe la reproduction de ces derniers. Les besoins pour l'organisme humain sont de 15 mg/j, nécessaires à l'activité d'enzymes. L'organisme d'un homme de 70 kg contient de 2 à 3 g de zinc [1].

III.2.5. Le cadmium (Cd) :

Le cadmium est un métal de symbole Cd, blanc brillant, ductile, malléable. Il est de numéro atomique 48, de densité de 8,65 dont le point de fusion s'élève à 321 °C et le point d'ébullition à 765°C. Le cadmium est un élément assez rare dans l'environnement, il se rencontre souvent associé au zinc [24].

Les concentrations dans l'eau de mer sont de l'ordre du microgramme par litre, du fait du processus de sédimentation sur le fond. Il se dissout dans les acides mais pas dans les bases. Il existe sous forme dissoute (sous forme d'ions Cd^{2+}); colloïdale (formation de colloïdes ou complexes organiques cadmiés CdCO_3); forme particulière (se concentre dans des particules minérales tels que les argiles et les oxydes et d'autres organiques (matière humique) [1].

Le cadmium est un poison cumulatif très toxique. Il inhibe la respiration cellulaire et un certain nombre de mécanismes enzymatiques fondamentaux [1].

Le cadmium est un métal dangereux pour les organismes car il a une demi-vie biologique très longue (16 à 33 ans) qui se traduit par une accumulation dans les organes [29].

Effet du cadmium:

Dans le milieu marin, le cadmium est rapidement transféré aux sédiments puis absorbé par les organismes vivants sur la vase.

Les effets écologiques du cadmium sont représentés essentiellement par une toxicité aigue sur les organismes supérieurs et les algues à partir de 0,1 mg/L [29].

Le cadmium peut être absorbé par les voies respiratoires et digestives. Cette dernière représente la source majeure du cadmium pour l'homme durant sa vie, alors que chez les poissons, le cadmium est absorbé par les voies branchiales ou par l'intermédiaire de la nourriture [1].

Le cadmium est toxique pour les poissons, les invertébrés et les plantes d'eau douce sa toxicité dépend des paramètres de la qualité de l'eau. Chez les poissons, le cadmium peut perturber l'équilibre ionique en altérant la perméabilité des membranes cellulaires [30].

Même à de faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50 ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées [1].

III.2.6. Le plomb (Pb) :

C'est un élément chimique métallique, dont le corps simple est un métal gris bleuâtre, mou et ductile. Il est un mauvais conducteur d'électricité, très dense 11,34, fond à 328°C et bout à 1740°C. Il s'agit d'un métal lourd, très toxique pour les êtres vivants en particulier pour les vertébrés homéothermes [1].

L'usage du plomb a été interdit dans l'essence dans certains pays tout au moins, les peintures, le sertissage des boîtes de conserves alimentaires et la vaisselle [31].

Effet du plomb:

Toxicité aiguë sur les organismes à partir de 0,1mg/L.

Chez l'homme, c'est un poison cumulatif responsable de saturnisme: atteinte neurologique (fatigue, irritabilité, retard intellectuel chez les enfants), troubles rénaux, cardiovasculaires [25].

Sur les organismes marins à doses élevées, il agit sur la croissance des organismes et il détruit les globules rouges des poissons [1].

Le transport du plomb se fait par le biais du sang à tous les organes. Il est accumulé dans les tissus du corps, les os, la foie et les reins [32].

Chez les poissons, le plomb s'accumule le plus fortement dans les os et les dents. Il s'accumule aussi dans le foie, les reins et en dernier dans les muscles avec des concentrations inférieures à 1 tg/g (P.S). Chez l'homme, les ions Pb^{2+} entrent en compétition avec Ca^{2+} dans la formation des os et peuvent aussi bloquer plusieurs enzymes [1].

VI. La spectrométrie d'émission atomique par plasma à couplage inductif ICP-AES

L'analyse de métaux par ICP-AES repose sur la spectrométrie d'émission atomique. Il est nécessaire de connaître le principe de l'émission atomique pour comprendre le fonctionnement de cette technique.

IV. 1. Le principe de l'émission atomique

Un atome possède de très nombreux niveaux d'énergie possibles. Pour qu'il y ait émission, l'atome doit avant tout être excité. L'excitation correspond à l'absorption d'une quantité d'énergie par l'atome suite à la collision de cet atome avec une autre particule. Cette quantité d'énergie absorbée entraîne le déplacement d'un électron de l'atome vers un niveau d'énergie supérieure. L'atome est alors dit « excité ». Par contre, un atome excité est instable. Il va donc chercher à retrouver son état fondamental par une ou plusieurs transition(s) électronique(s) d'un état d'un niveau énergétique supérieur à un état énergétique inférieur. La transition électronique d'un état d'un niveau énergétique supérieur à un état énergétique inférieur conduit à l'émission d'un photon ayant une énergie correspondant à la différence d'énergie entre les deux niveaux énergétiques. Il s'agit de l'émission [33].

L'énergie des photons est spécifique de l'élément et de la transition concernée. A un niveau d'énergie E à un niveau E_0 correspond l'émission d'un photon de fréquence ν transportant l'énergie $h \cdot \nu$:

$$\Delta E = E - E_0 = h \cdot \nu = h / \lambda$$

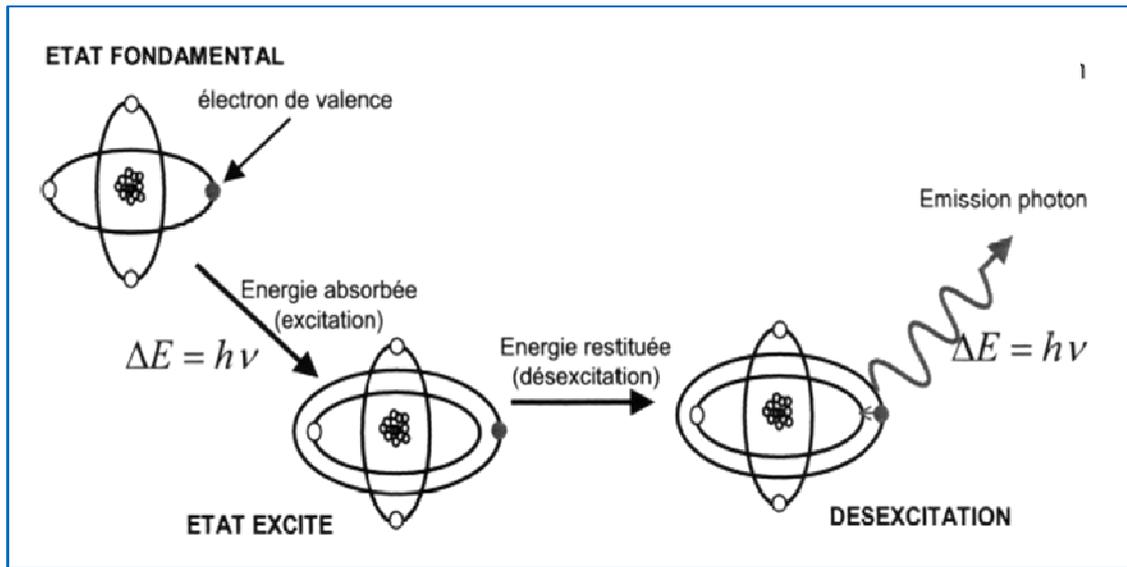


Figure 04 : Schéma de principe de l'excitation et de l'émission

IV.2. Principe de l'ICP-AES

VI.2.1. La source

La source utilisée en ICP-AES est un plasma généré par couplage inductif. Un plasma est un gaz atomique électriquement neutre mais très ionisé. Il est constitué d'atomes neutres (atomes du gaz) et d'autant de charges positives (cations du gaz) que négatives (électrons). Le plasma le plus utilisé est le plasma d'argon car l'argon ne se recombine pas avec les espèces chimiques d'une façon stable et possède un potentiel d'ionisation très élevé (15,6 eV), ce qui permet l'excitation de la majorité des ions. De plus, il s'agit d'un gaz rare, il est ainsi difficile à ioniser et peut atteindre une température de plasma très élevée (de l'ordre de 10 000 K). En outre, l'argon possède l'avantage d'être un des gaz les plus présents sur Terre. L'hélium pourrait être utilisé, mais possède l'inconvénient d'être cher.

Un plasma d'argon est ainsi constitué d'atomes d'argon, d'ions argon Ar^+ et d'électrons. L'inconvénient de l'argon est que celui-ci a une mauvaise conductibilité thermique, il est donc nécessaire d'avoir une bonne optimisation des paramètres pour permettre d'avoir des conditions très proches entre les mesures des différents échantillons, en particulier au niveau de la température [35].



Figure 05 : photographie d'un plasma d'argon.

IV.2.2. Composition d'un spectromètre ICP-AES :

Un spectromètre ICP peut être divisé en quatre parties :

- le système d'introduction de l'échantillon qui amène l'échantillon dans le plasma ;
- Le générateur électrique qui apporte l'énergie au plasma ;
- le système d'atomisation et d'excitation ;
- le système optique qui analyse le spectre émis par le plasma ;
- le système de détection qui permet l'analyse qualitative et quantitative du rayonnement émis

L'ensemble de la composition d'un spectromètre ICP-AES est visible sur la figure

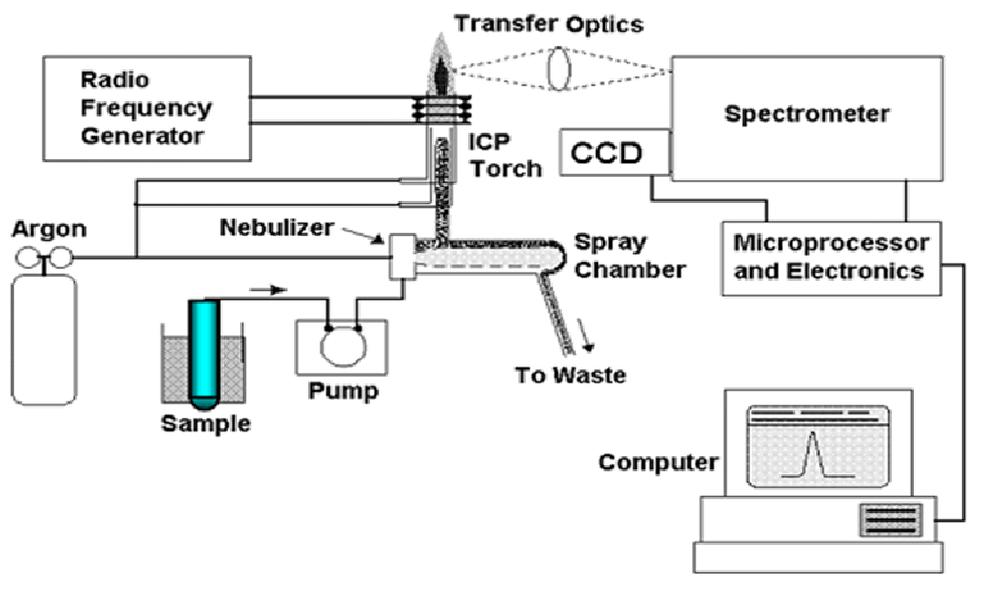


Figure 06 : Schéma de l'appareillage d'un spectromètre ICP-AES (ici en visée radiale).

VI.2.2.1. Le système d'introduction de l'échantillon

Une étape de préparation de l'échantillon est nécessaire en amont d'une analyse en ICP-AES.

Le système d'introduction de l'échantillon est constitué d'une pompe péristaltique, d'un nébuliseur et d'une chambre de nébulisation.

A : pompe péristaltique

B : nébuliseur

C : chambre de

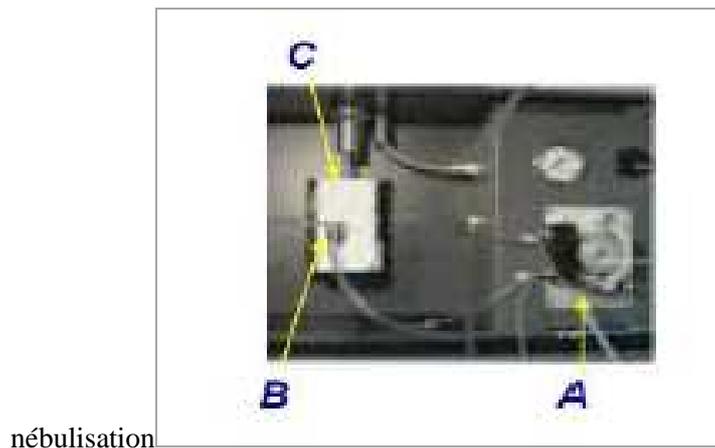


Figure 07 : Photographie représentant le système d'introduction de l'échantillon.

Tout d'abord, un volume d'échantillon est prélevé à l'aide d'une sonde. Ce volume d'échantillon est ensuite entraîné vers une pompe péristaltique afin de permettre un entraînement de l'échantillon dans le système d'introduction à un débit constant. La caractéristique principale des pompes de ce type est l'affranchissement de la viscosité des solutions. Cette pompe peut utiliser deux ou trois voies. La première voie permet le transfert de l'échantillon. La deuxième voie sert à retirer l'excès de liquide dans la chambre de nébulisation. La troisième voie peut servir à insérer un étalon interne.



Figure 08 : Photographie d'une pompe péristaltique.

Mais avant d'être excité, l'échantillon doit subir au préalable deux étapes : la génération d'aérosol et la sélection des gouttes formant l'aérosol.

La génération d'un aérosol consiste à mettre en suspension les particules de liquides de l'échantillon dans le plasma pour former un nuage de particules très fines. Cette étape est réalisée au sein d'un nébuliseur. Les nébuliseurs sont classés en deux catégories : les nébuliseurs pneumatiques (ex : flux croisé, concentriques (voir figure 9), flux parallèles) et les nébuliseurs ultrasoniques. La différence entre ces deux grandes types de nébuliseurs repose sur la création de l'aérosol. En effet, l'aérosol est formé à partir de l'interaction gaz-liquide en utilisant l'énergie du débit de gaz dans le cas d'une nébulisation pneumatique, tandis qu'il est formé grâce à une surface vibrante par action d'ultra-son pour les nébulisations ultrasoniques.

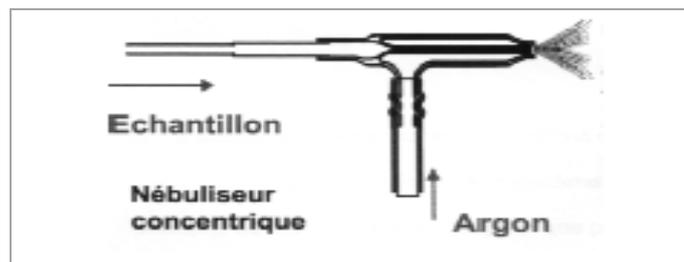


Figure 09 : Schéma d'un nébuliseur concentrique

Par la suite, la sélection des gouttes formant l'aérosol est réalisée dans la chambre de nébulisation. Le rôle de cette dernière est de condenser les grosses gouttes pour permettre un écoulement laminaire des gouttes les plus fines. La séparation des grosses gouttes des plus fines est effectuée par sédimentation (chute des plus grosses gouttes), par impact (le virage est plus grand pour les plus grosses gouttes) et par combinaison de ces deux phénomènes.

Il existe deux types de chambre de nébulisation : la chambre cyclonique et la chambre à rotation verticale. De part la forme de ces chambres, les fines gouttelettes et le gaz vecteur sont dirigés vers la torche par le haut de la chambre, tandis que les grosses gouttelettes sont dirigées vers le bas de la chambre et sont drainées sous forme liquide. Le liquide est retiré par l'intermédiaire d'un tube de drainage étanche qui met en œuvre la pression hydrostatique pour maintenir une surpression dans la chambre. Le liquide est drainé de façon constante pour éviter les variations de pression dans la chambre, qui entraînerait une variation de signal. L'intérêt de réaliser une homogénéité des tailles de gouttes est d'éviter une modification de la température du plasma, ce qui fausserait les résultats. Seules les gouttelettes de diamètres inférieurs à 10 μm passent dans le plasma. Ainsi, seulement 1 % de la solution aspirée passe dans le plasma [40].



Figure 10 : Photographie d'une chambre cyclonique.



Figure 11 : Photographie d'une chambre à rotation verticale.

Le système d'introduction de l'échantillon est important à considérer car c'est cette partie qui peut être responsable de difficultés pour l'analyse telles que la source de fluctuations, la source de dérivés et des interférences. En effet, la viscosité, la tension superficielle, la vitesse du gaz de nébulisation et le type de nébuliseur ont une influence sur l'efficacité de la nébulisation.

IV.1.2.3. Le système d'atomisation et d'excitation :

Le système d'excitation représente tous les phénomènes se produisant dans le plasma. Le nébulisât, obtenu après nébulisation de l'échantillon, subit différents processus (désolvation, vaporisation, atomisation et éventuellement ionisation) avant l'excitation des atomes ou des ions de l'échantillon.

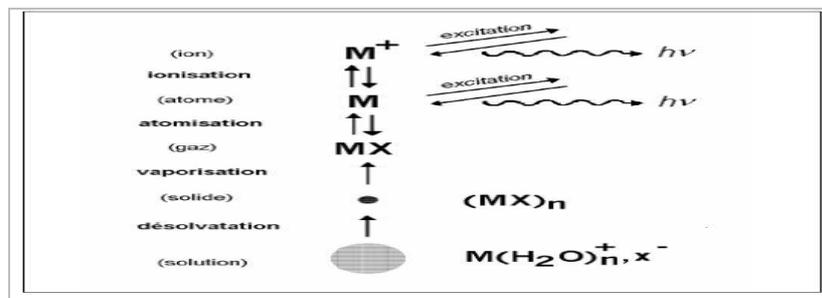


Figure 12 : Schéma représentant les différents processus lors de l'atomisation et l'excitation.

Lors de la collision d'une particule et d'un atome pendant l'atomisation et l'ionisation, trois processus peuvent se produire :

- **excitation** : $\text{Ar} + \text{M} \rightarrow \text{Ar} + \text{M}^*$ ou $\text{Ar}^+ + \text{M} \rightarrow \text{Ar}^+ + \text{M}^*$;
- **ionisation** : $\text{Ar} + \text{M} \rightarrow \text{Ar} + \text{M}^{+*} + e^-$ ou $\text{Ar}^+ + \text{M} \rightarrow \text{Ar}^+ + \text{M}^{+*} + e^-$;
- **transfert de charge** : $\text{Ar}^+ + \text{M} \rightarrow \text{Ar} + \text{M}^+$.

L'excitation et l'ionisation se produit à haute vitesse de collision, de ce fait dans la partie la plus chaude du plasma, tandis que le transfert de charge a lieu à faible vitesse, de ce fait dans la partie la moins chaude du plasma.

Le système d'excitation est composé de trois tubes concentriques souvent appelé torche et d'une bobine d'induction.

Le tube central, appelé aussi tube de nébulisation et correspondant à l'injecteur, permet l'introduction de l'échantillon transporté par le flux de gaz avec un débit d'environ 0.5L /min. Le tube auxiliaire quant à lui permet d'accélérer le gaz servant à créer le plasma et à le renouveler , qui a pour conséquence d'éviter les dépôt de sel dissous et d'augmenter la séparation entre le plasma et la torche afin d'éviter que cette dernière ne fonde sous l'effet de la température du plasma , ainsi que d'abaisser la température à l'extrémité du tube injecteur. Le débit peut aller de 0.74 à 2.25 L .min⁻¹, il dépend du solvant utilisé et de la concentration en sel dissous. Entre le tube extérieur et le tube intermédiaire est introduit le gaz plasmagène qui crée le plasma qui circule avec un débit allant de 12 à 25 L.min⁻¹ .Le tube plasma a pour rôle de confiner et isoler électriquement le plasma .Ce tube permet d'entretenir le plasma tout en refroidissant le tube extérieur [34].

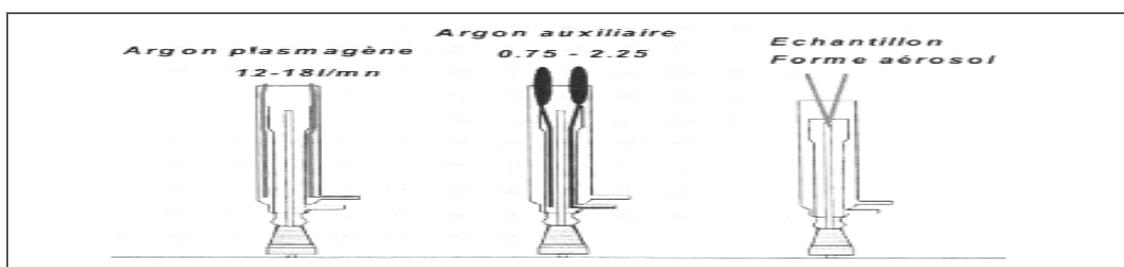


Figure 13 : Schéma représentant le chemin emprunté par les différents constituants du plasma dans la torche.

L'ionisation du gaz est réalisée à partir d'une énergie sous forme d'un champ magnétique. Ce champ hautes fréquences, d'une puissance comprise entre 0.8 et 1.4KW, est produit à partir d'un inducteur (bobine). La puissance doit être parfaitement stable afin d'éviter toute dérive et le générateur doit être suffisamment souple pour s'accommoder aux différentes charges liées

à la matrice. Ce champ magnétique permet également de maintenir le plasma. Ainsi, le chauffage est assuré par induction. Ce gaz ionisé transmet ensuite une partie de cette énergie à l'échantillon pour l'atomiser, l'exciter, et éventuellement l'ioniser et exciter les ions produit [34].

Mais comment le plasma est-il créé au sein de la torche ? Ce processus est résumé dans la figure 14.

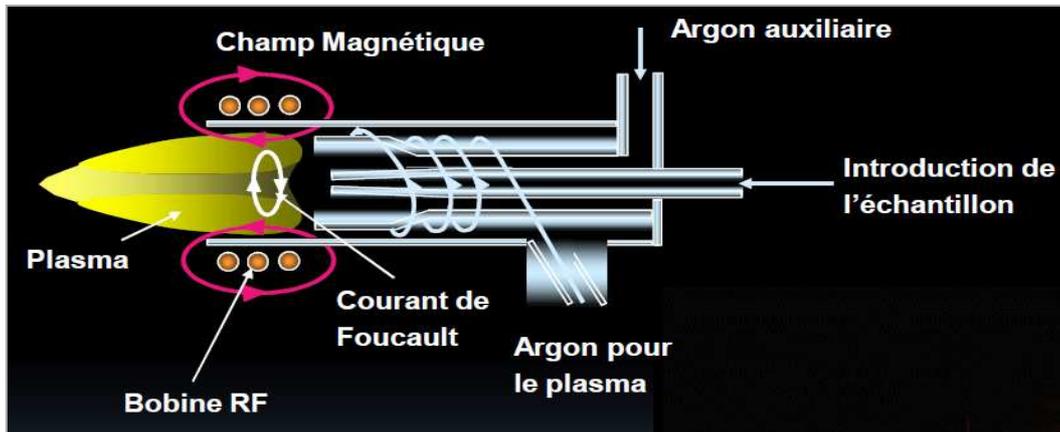


Figure 14 : Schéma représentant la formation d'un plasma au sein de la torche.

Un flux d'argon continu traverse les tubes en quartz en formant des tourbillons. La bobine d'induction entoure l'extrémité des tubes deux ou trois fois. Les lignes de force du champ magnétique créé par la bobine suivent l'axe de la bobine dans le tube et forment des ellipses à l'extérieur du tube. Une décharge électrique est créée un court instant, ce qui permet l'introduction d'électrons libres au sein du gaz. Les électrons accélérés par le champ magnétique entrent en collision avec des atomes d'argon et les ionisent. Lors de l'ionisation, un nouvel électron est libéré. Ce processus continu jusqu'à ce que l'équilibre entre l'ionisation de l'argon et la recombinaison des électrons avec des ions d'argon soit atteint :

$\text{Ar} + e^- \rightarrow \text{Ar}^+ + 2e^-$. Il en résulte la formation du plasma sur le haut de la torche suite aux collisions de ces différentes espèces.

Il est nécessaire d'attendre au moins 20 minutes après la formation du plasma avant de réaliser la première mesure pour que le système soit stabilisé [36].

Il y a deux manières différentes d'observer les signaux émis par un plasma : par visée radiale (ou latérale) ou par visée axiale. La différence entre ces deux visées repose sur la position du système optique par rapport à l'axe du plasma. On parle de visée radiale lorsque l'axe du plasma et l'axe d'observation sont perpendiculaires et de visée axiale lorsque ceux-ci sont superposés. L'intérêt de ces configurations est de supprimer la zone de refroidissement du

plasma pour limiter les recombinaisons et d'orienter les photons au maximum vers le spectrophotomètre. En visée axiale, la queue du plasma est déplacée de l'axe d'observation par un flux d'air et par aspiration à l'aide d'une hotte d'extraction.

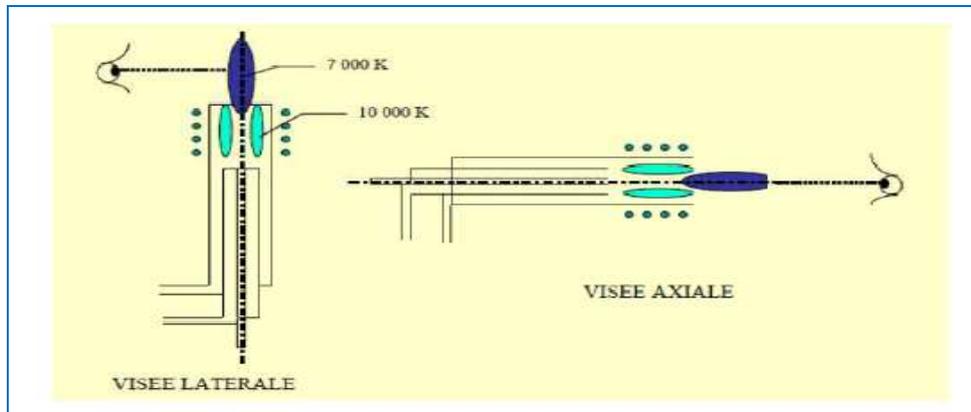


Figure 14 : Schéma représentant la visée latérale et la visée axiale en ICP-AES.

IV.1.2.4. Le système optique :

Le rôle du système optique est de séparer les photons en fonction de leur longueur d'onde. Ceci est réalisé à partir d'un système dispersif. On dénombre actuellement deux types de systèmes dispersifs : le prisme et le réseau de diffraction. Le réseau de diffraction est une surface optique permettant la dispersion de la lumière via une série de traits gravés. Le système optique le plus utilisé en ICP-AES est la dispersion croisée qui appartient à la catégorie des réseaux de diffraction.

Le système de dispersion croisée est composé d'un réseau, d'un prisme en fluorure de calcium (CaF_2) et d'un miroir. La combinaison du réseau et du prisme permet l'étalement du spectre en deux dimensions. L'image est par la suite focalisée par le miroir et renvoyée sur le détecteur.

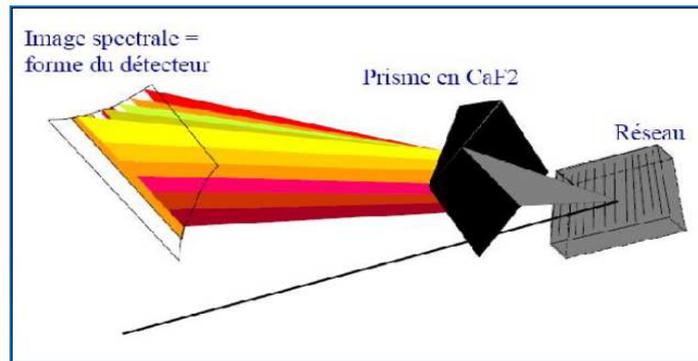


Figure 15 : Schéma de principe du système optique à dispersion croisée.

IV.1.2.5. Le système de détection :

Le système de détection permet de convertir des photons en courant électrique. Il existe deux grands types de détecteurs : le tube photomultiplicateur et le détecteur solide.

Un tube photomultiplicateur est composé d'une photocathode, de dynodes et d'une anode. Les photons émis lors de l'émission frappent la photocathode. Des électrons sont créés suite au processus de l'effet photoélectrique. Ces électrons rencontrent des dynodes. Le nombre d'électrons est alors fortement augmenté, avant de rencontrer une anode. Il y a amplification du courant électrique. Ce détecteur nécessite l'association avec un monochromateur à réseau plan ou concave. Ce détecteur possède l'avantage d'atteindre un seuil de détection très bas et d'obtenir une très large gamme spectrale. Par contre, son coût peut devenir très important lorsque celui-ci présente plusieurs photomultiplicateurs [43].

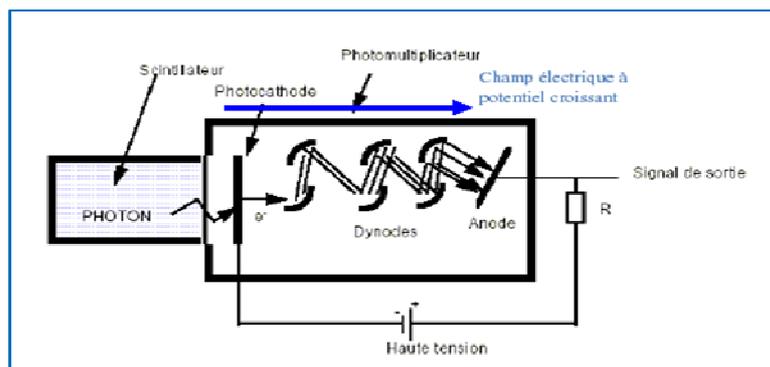


Figure 16 : Schéma de principe d'un détecteur à tube photomultiplicateur.

IV.1.2.5. Spectre d'émission atomique :

Selon la quantité d'énergie fournie par le plasma (plasma d'argon : 15,6 eV) et selon l'énergie d'ionisation de l'élément, des transitions atomiques et éventuellement des transitions

ioniques, si l'énergie d'ionisation n'est pas trop élevée, peuvent être observées sur le spectre de raies d'émission de l'échantillon. Ce dernier est spécifique à chaque élément et dépend de la température de la source. Suivant l'espèce qui est excitée, les raies sont appelées raie I lorsque l'émission provient d'un atome, raie II lorsque l'émission provient d'un ion une fois ionisé et raie III lorsque l'émission provient d'un ion deux fois ionisé. Les raies III sont peu observées en ICP-AES [33,35].

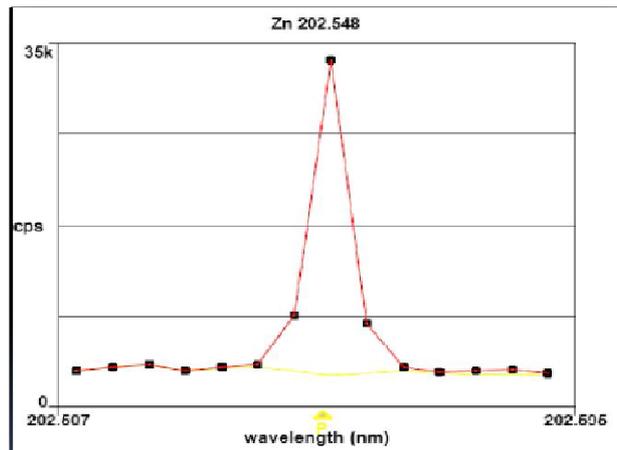


Figure 16 : Pic du Zinc à longueur d'onde de 202.548 nm.

IV.1.2.6. Les différentes interférences dans l'ICP-AES

➤ Les interférences chimiques:

Sont pratiquement inexistantes grâce à la température élevée du plasma.

➤ Les interférences spectrales :

On peut en distinguer deux types :

-Interférence pic/ fond

L'élément interférant provoque une montée du fond dans la zone où se trouve le pic analysé.

Pour corriger cette interférence, on mesure pour chaque élément, successivement le pic, et le fond à une distance donnée à gauche ou à droite du pic. Cette correction est appelée correction de fond.

-Interférences entre pics

Le pic de l'élément à analyser est situé dans une zone d'un autre pic. Pour corriger cette interférence entre pics, on fait la correction inter-élément [38].

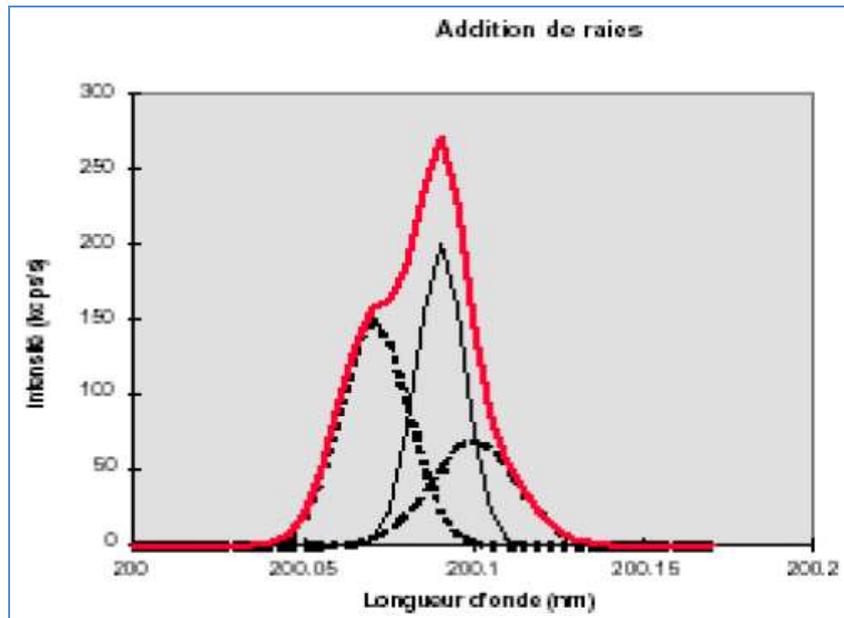


Figure 17 : Pic présentant une interférence spectrale.

PARTIE II : ECHANTILLONNAGE ET METHODES D'ANALYSE

I.1.Présentation du site d'étude :

Du point de vue géographique, notre zone d'étude situé à la confluence entre les deux bassins versant de oued Tafna avec oued Mouillah.



Figure 20 : Situation du Barrage Hammam Bouhrara (Google Earth 2015).



Figure 21 : Barrage Hammam Bouhrara.

II. Les paramètres physico-chimiques mesurés

II.1.Température

Il est primordial de connaître la température d'une eau. En effet, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et la détermination du pH. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau [39].

II.2. La Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'évaluer la minéralisation globale et d'estimer la totalité des sels solubles dans l'eau [40].

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente.

II.3. pH (le potentiel d'hydrogène)

Le pH (potentiel Hydrogène) d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est fonction de l'activité des ions hydrogènes H^+ présents dans cette eau. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques.

II.4. Métaux traces :

Un métal est une matière, issue le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, doté d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité.

On appelle en général « Métaux Lourds » les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 g/cm³. La classification des métaux lourds est souvent discutée car certains métaux ne sont pas particulièrement « lourds » : cas du Zinc, et certains éléments ne sont pas tous « des métaux » : cas de l'Arsenic. Pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation « Métaux Lourds », l'appellation « Éléments en Traces Métalliques » (ETM), « Éléments Traces » ou encore « Métaux Traces ».

Le suivi des concentrations en métaux lourds est particulièrement important vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long des chaînes alimentaires. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement [41].

III. METHODES ET MATERIELS :

III.1. Sites des prélèvements des échantillons d'eau :



Figure 22: Sites des prélèvements des échantillons de l'eau (Google Earth 2015)

III.1.1. Procédure de prélèvement :

D'une manière générale ; l'échantillonnage de l'eau doit être homogène et représentatif :

- Avant le prélèvement le flacon est rincé par l'eau à analysée
- Les flacons doivent être fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air.
- Le remplissage des flacons est effectué à plus que 30 cm de la surface pour éviter l'effet du film
- Tous Les prélèvements sont effectués à la même période [41].

III.1.2. Matériels de prélèvement :

Il est composé de :

- Une glacière contenant les flacons ombrés de 180 mL.
- La glace placée avec les échantillons pour limiter au maximum toute activité microbologique pouvant fausser les résultats.
- Des flacons ombrés de 180 ml pour contenir l'eau prélevée.
- Un bloc note pour noter nos observations et résultats.
- une tige galvanisée pour faire remplir la bouteille sous une profondeur.

Les analyses sont faites dès que possibles, au maximum 72 heures après la prise d'échantillons.

III.2. La pêche des poissons :

III.2.1.Choix de site :

Le choix du site à été établi selon les critères défini à savoir :

- L'accès facile par piste.
- Un volume d'eau parfait pour l'élevage des poissons.



Figure 23 : Site de pêche des échantillons de poissons (Google Earth 2015)

III.2.2.Choix du matériel biologique :

Ce choix est justifié par son abondance dans notre zone étude. Son importance commerciale et sa disponibilité font de la carpe commune un aliment de choix pour de nombreuses populations. Cette espèce est indicatrice de pollution. Cette étude est comprend sur 3 poissons, le tableau 00 illustre leurs caractéristiques.

Les prélèvements d'échantillons ont été effectué au niveau de notre station d'étude le 23 /09/2014 à l'aide des pêcheurs professionnels. Les individus pêchés sont conservés dans une glacière puis acheminés au laboratoire.



Figure 24 : Poissons (carpe) pêchées à partir du barrage hammam Bouhrara



Figure 25 : poisson la carpe (*carpinus carpio*) pêchée

IV. TRAVAIL AU LABORATOIRE

Les analyses physico-chimiques de l'eau, la dissection des poissons, le dosage des métaux dans l'eau et chez les poissons sont réalisés au sein du laboratoire de spectrochimie et pharmacologie structurale (LSPS).

IV.1. Mensuration et pesé :

Notre étude comprend sur trois échantillon de poissons (petite carpe), nous avons pesé chaque individus puis nous avons mesuré la longueur total.

Tableau 02: Caractéristiques des carpes pêchées.

	Poisson n°01	Poisson n°02	Poisson n°03
Longueur (cm)	15.1	17.8	20.1
Poids (g)	32.77	34.04	50.96

IV.2. La dissection

Les poissons sont disséqués sur une planche en verre propre.

IV.2.1. Protocole de dissection

- . Le poisson est posé sur la face dorsale contre la planche à dissection.
- . La paroi abdominale est incisée en partant de l'anus jusqu'à l'extrémité antérieure des fentes operculaires.
- . Ecarter doucement les deux volets latéraux.
- . On découvre alors, l'organisation interne de l'animal, et ainsi situer les divers appareils (circulatoire, respiratoire, digestif, uro-genital) et les différents organes .

Après la dissection de chaque poisson, nous avons récupéré trois parties : les muscles, les abats rouges et les squelettes.

Ces derniers sont placés dans des crûsses de porcelaines afin de passer à la minéralisation [42].

IV. 3. Appareillage et réactifs

- Acide Nitrique 69% (SIGMA-ALDRICH-GERMANY).
- Acide chlorhydrique 36, 5-38 % (SIGMA-ALDRICH-GERMANY).
- Eau pure 1% HNO₃.
- Eau ultra pure (conductivité égale à 18 µΩ)
- Verrerie (Fioles jaugées classe A, bécher classe A,).
- Micropipettes 100µL, 1000µL
- Balance analytique (précision : 0.001g).
- Four VECSTAR.
- Etuve BINDER.

IV.3.1. Préparation de verrerie

Toute la verrerie du laboratoire est lavée au détergeant ensuite rincé par l'eau pur puis immergée dans l'acide Nitrique 1% pendant 24h suivi d'un rinçage à l'eau ultra pure et séché à l'aide d'une étuve avant utilisation.

Préparation de la solution HNO₃ 1%

On place 7 ml de HNO₃ à 69 % (à l'aide d'une burette) dans une fiole de 500 ml et on complète la fiole jusqu'à le trait de jauge avec de l'eau ultra pure.

IV.4. Minéralisation des échantillons

La minéralisation a pour but la destruction de la matière organique et la libération des métaux par calcination et par attaque acide. Dans cette étude la minéralisation à été effectuée par deux voies sèche et humide.

Précautions

L'utilisation de l'acide pour les lavages nécessite une protection à l'aide de gants nitriles et de lunette de protection, en plus de la blouse de laboratoire. De plus la manipulation de tous acides, au cours de l'étude se fait sous hôte aspirantes, pour permettre au vapeur d'acide d'être évacuées.

➤ Par voie sèche (calcination)

Un gramme de chaque organe d'échantillon de poisson n°1 a été placé dans trois crûsses de porcelaines de l'ordre suivant muscles (1), abats rouges (2), squelettes (3).



Figure 26 : la balance utilisée pendant la manipulation.

Afin d'évaporer l'eau, les trois échantillons sont placés dans l'étuve à 100°C pendant 24 heures. La calcination des échantillons se fait dans le four à 600°C pendant 16 heures jusqu'à l'obtention des cendres blancs.



Figure 27 : Le four utilisé pendant la calcination.

➤ **Par voie humide (attaque acide)**

Dans cette méthode, un mélange d'acides HNO_3 et HCl (3:1) est utilisée afin de détruire la matrice organique. 1g de chaque organe des poissons (poisson n°2 et n°3) sont misent dans trois cruses successivement : muscles (crusse n°1), abats rouges (crusses n°2), squelettes (crusse n°3). On additionne à chaque crusse 32mL du mélange d'acides préparé, puis en place les échantillons dans l'étuve à 130°C pendant 4 heures.



Figure 28 : L'étuve utilisée pour le séchage des échantillons.

Après le séchage, les échantillons sont mises dans des béchers de 50 mL, on ajoute 5 mL d'eau ultra pure 1% HNO₃ à chacune puis on place les sur une plaque chauffante pour la dissolution des échantillons [43].

Une fois la minéralisation (sèche et humide) terminée, le contenu du bécher a été filtré en utilisant un papier filtre. Les filtrats ont été ajustés dans des fioles à 10 mL par de l'eau bidistillée. Finalement, les échantillons sont conservés dans des seringues de polyéthylène au réfrigérateur jusqu'à l'analyse par ICP-OES.

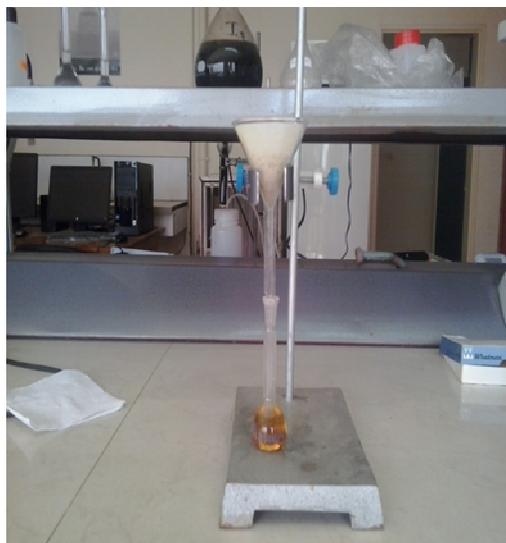


Figure 29 : La filtration des échantillons après la minéralisation.

IV.5. Analyse des éléments par ICP-OES

Le dosage des métaux est réalisé par spectroscopie d'émission optique par plasma d'argon à couplage inductif (ICP-OES) de type HORIBA JOBIN YVON Ultima 2. Ce spectromètre fonctionne en mode simultané, c'est à dire que tous les éléments sont analysés en même temps dans les mêmes conditions opératoires.

IV.5.1.Principe de la technique utilise

Le "plasma à couplage inductif", associé à la spectroscopie d'émission optique (ICP-OES), est une méthode d'analyse chimique qui utilise comme source d'ionisation un plasma. La détection des éléments présents dans l'analyte se fait par émission. L'échantillon à analyser se présente sous forme liquide. L'analyte est entraîné par une pompe péristaltique et est nébulisé. L'aérosol ainsi obtenu est alors transporté dans le plasma où il est désolvaté, vaporisé, atomisé ou ionisé. Le retour à un état d'énergie plus bas s'accompagne de l'émission de radiations caractéristiques des éléments analysés. Un monochromateur permet la séparation des différentes longueurs d'ondes. Cette mesure se fait en réglant l'appareil sur les longueurs d'ondes spécifiques (tableau). Elles sont transformées en signaux électroniques qui sont convertis en informations pour nous.



Figure 30 : L'ICP-OES utilisé.

Mise en marche de l'ICP-OES

Avant de commencer une analyse, il faut mettre en marche l'appareil. Pour cela, il faut mettre en marche la hotte (qui permet d'évacuer la chaleur produite par le plasma), placer les tuyaux de la pompe péristaltique dans leur emplacement, ouvrir la vanne d'argon, mettre en route le refroidisseur, allumer l'ordinateur et lancer le logiciel. Là, on accède à la commande pour allumer le plasma. Après l'avoir allumer, on attend environ une demi- heure qu'il soit stabilisé.

IV.5.2. Etalonnage

L'étalonnage de notre ICP-OES est réalisé par un standard d'étalonnage de type « **JYICP-MIX 23** » (Figure 31) (Une solution multi-élémentaire de concentration certifiée; 1000 mg/l pour 23 éléments):

La solution d'étalonnage contenant les éléments suivants :

Argent (**Ag**), Aluminium (**Al**), Bore (**B**), baryum (**Ba**), bismuth (**Bi**), calcium (**Ca**), cadmium (**Cd**), cobalt (**Co**), chrome (**Cr**), cuivre (**Cu**), fer (**Fe**), gallium (**Ga**), indium (**In**), potassium (**K**), lithium (**Li**), magnésium (**Mg**), manganèse (**Mn**), sodium (**Na**), nickel (**Ni**), plomb (**Pb**), strontium (**Sr**), titane (**Ti**) et le zinc (**Zn**).



Figure 31 : Etalon commercial utilisée.

Mode opératoire :

Préparation de la solution mère :

A partir d'une solution d'étalon multi élémentaire à 1g/L, on prépare une solution de 1mg/L en mettant 0.5 mL dans une fiole jaugé de 500 mL et en complète avec de l'eau pure.

Notre étude comprend le dosage des éléments majeurs et traces, donc il est nécessaire de préparer deux gammes d'étalons, la première [0-1] mg /L et la deuxième [0-0,1] mg/L.

Pour la première gamme, on utilise une micropipette de 1000 μ L pour les prélèvements des quantités à partir d'une solution mère de titre 1mg/L, en versant dans des fioles de 50 mL.

Par la même manière, on utilise une micropipette de 100 μ L pour les prélèvements de la deuxième gamme.

Tableau 03 : les quantités prélevées de la solution mère pour la préparation des étalons de la première gamme.

Etalons de la 1 ^{ère} gamme	Concentration en mg /L	Volume prélevé de la solution mère en μ L
Etalon N° 01 (le blanc)	0	0
Etalon N° 02	0,1	100
Etalon N° 03	0,2	200
Etalon N° 04	0,3	300
Etalon N° 05	0,8	800
Etalon N° 06	0,9	900
Etalon N° 07	1	1000

Tableau 04 : les quantités prélevées de la solution mère pour la préparation des étalons de la deuxième gamme.

Etalons de la 2 ^{ème} gamme	Concentration en mg/L	Volume prélevé de la solution mère en μ L
Etalon N° 01 (le blanc)	0	0
Etalon N° 02	0,01	10
Etalon N° 03	0,02	20
Etalon N° 04	0,03	30
Etalon N° 05	0,09	90
Etalon N° 06	0,1	100



Figure 32 : Solutions des étalons préparés.

On choisit la longueur d'ondes donnant le meilleur compromis limite de détection, stabilité, interférence, sensibilité pour le problème analytique posé car il n'y a pas pour un élément de raie universelle.

Tableau 05: Longueur d'onde des éléments chimiques servant du dosage par Spectrophotométrie d'émission optique par plasma d'argon

Elément	Longueur d'onde (nm)
Al	396.152
B	208.959
Ca	317.933
Cd	228.802
Co	228.616
Cr	205.552
Cu	327.396
Fe	374.556
K	766.490
Mg	279.806
Mn	280.106
Na	330.237
Ni	231.604
Pb	220.353
Zn	213.856

Paramètre expérimentaux :**Tableau 06 : Les paramètres expérimentaux de l'ICP-OES utilisé.**

Paramètre expérimental	Valeur
Puissance	1000 W
Débit de gaz plasmagène	12 L/min
Débit gaz auxiliaire	1.5 L/min
Pression de nébulisation	200 Kpa
Délai de stabilisation	20 s
Temps de lecture par réplique	5 s
Vitesse de pompe	15 tour/ min
Temps de rinçage	20 s
Diamètre interne tuyau étalon interne	0.51 mm
Diamètre interne tuyau échantillon	0.8 mm

IV.5.3.Mise en forme des échantillons avant l'analyse

On prépare des dilutions de 200 fois, 10 fois afin d'inclure les concentrations des éléments majeurs dans le domaine de concentration des étalons.

La dilution 200 fois

On prend 125 µL de chaque échantillon brute dans une fiole jaugé de 25 mL et en complète par de l'eau ultra pure HNO₃ 1% jusqu'à le trait de jauge.

La dilution 10 fois

Par le même procédé et à partir des échantillons brutes, 1 mL est prélevé (à l'aide d'une micropipette 1000µL) et placé dans une fiole de 10 mL.

IV.5.4.Mesure de concentration :

La concentration du métal dans l'échantillon est calculée selon la formule suivante :

$$C(\text{échantillon})\left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}}\right)_{PB} = \frac{C(\text{échantillon})\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \cdot \text{Volume de la minéralisation(L)}}{\text{Masse de la prise d'essai(Kg)}}$$

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'objectif du présent travail, était d'évaluer la teneur en métaux dans les eaux de barrage hammam Boughrara, et la contamination par des métaux lourds des poissons de type carpe *ciprinus carpio*.

I. Résultats

Nos résultats regroupent les courbes d'étalonnages obtenus, les analyses physicochimiques des eaux de surface du barrage du HAMMAM BOUGHRARA, et le dosage des métaux chez les poissons pêchées de type 'CARPE' (*ciprinus carpio*).

I.1. Courbes d'étalonnages :

L'étalonnage consiste à tracer une courbe, intensité en fonction de concentration. Après le passage des solutions des étalons on obtient les courbes d'étalonnages correspondants aux éléments à dosés.

Voici quelques courbes d'étalonnages obtenus (les autres courbes sont mentionnés dans l'annexe I) .

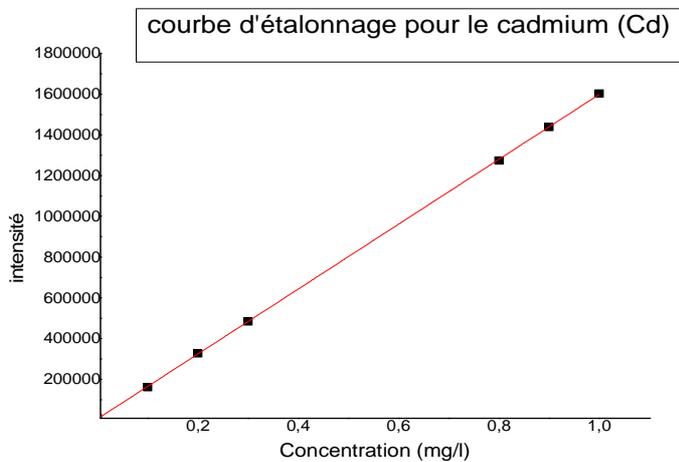


Figure 33 : Courbe d'étalonnage du cadmium (première gamme d'étalons)

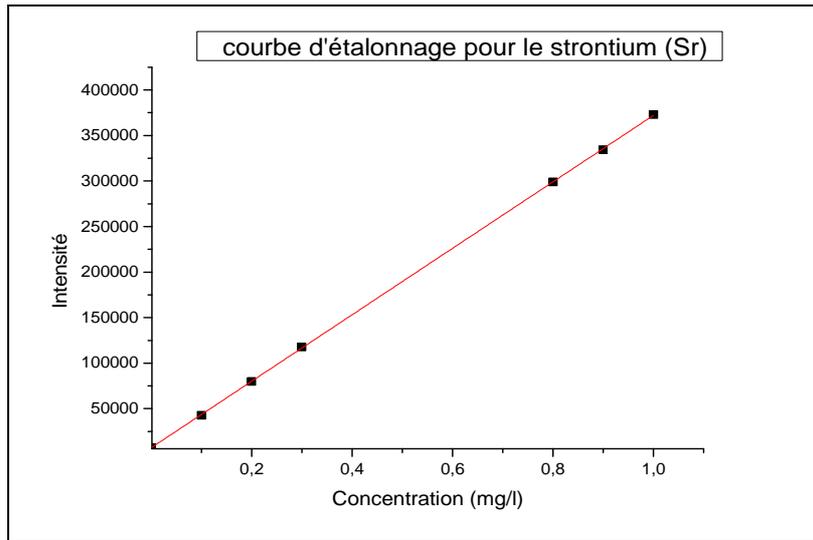


Figure 34 : courbe d'étalonnage du strontium (première gamme d'étalons) .

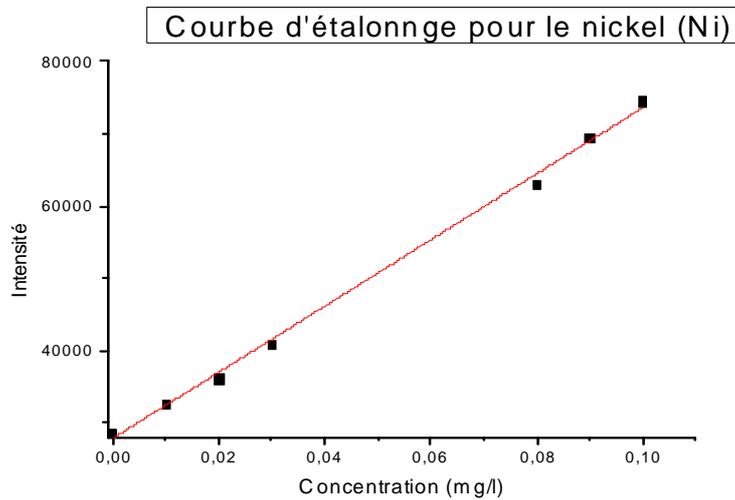


Figure 35 : Courbe d'étalonnage du Nickel (la deuxième gamme d'étalons)

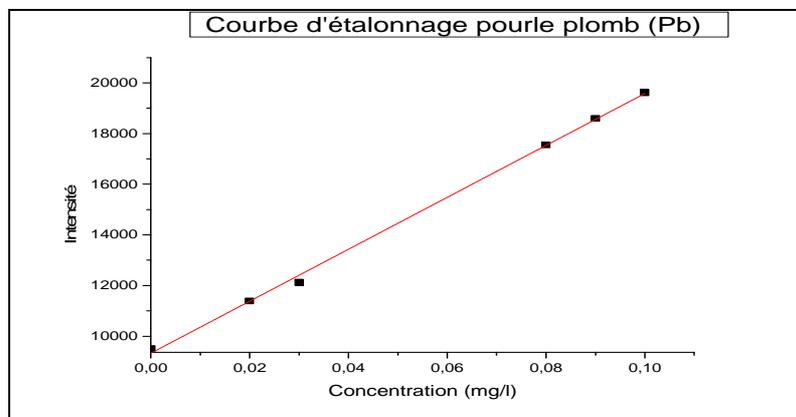


Figure 36 : Courbe d'étalonnage du Plomb (la deuxième gamme d'étalons).

Elément	Cd	Sr	Ni	Pb
Longueur d'onde	228.802	215.284	231.604	209.353
R	0.99998	0.99998	0.9989	0.9993
R ²	0.99995	0.99996	0.9974	0.9984

Tableau 07 : Coefficients de régression des courbes d'étalonnages des éléments (Cd, Sr, Ni, Pb).

Les autres coefficients de régressions sont mentionnés dans l'annexe II.

I.2. Analyses des eaux

Tous les prélèvements sont effectués le 23/09/2014.

I.2.1. Les analyses physicochimiques de l'eau

	Site 01	Site 02	Site 03	Site 04
Température (°C)	17.8	18	18.3	17.6
pH	7.25	7.44	7.95	8.34
Conductivité $\mu\text{s} / \text{cm}$	1143	1007	1089	1753

Tableau 08: Les analyses physicochimiques des échantillons de l'eau de barrage.

I.2.2. Concentrations des éléments métalliques dans les eaux de Barrage Hammam Boughrara

Tableau 09 : Concentrations (mg/L) des éléments traces dans les eaux de surface du barrage.

Concentrations en mg/L des ETM								
Sites	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	B
Site n°01	0.00198	0.162	0.159	2.2	0.472	0.06	0.055	0.159
Site n°02	0.00214	0.160	0.147	2.23	0.451	0.06	0.054	0.147
Site n°03	0.00214	0.162	0.128	2.20	0.462	0.07	0.055	0.128
Site n°04	0.00221	0.161	0.144	2.20	0.470	0.06	0.055	0.144

Tableau 10: concentrations (mg/L) des éléments majeurs dans les eaux de surface du barrage.

Concentrations mg/L Des éléments majeurs				
Sites	Na	K	Ca	Mg
Site n°01	92.270	9.020	26.025	37.3
Site n°02	89.010	9.120	24.319	36.32
Site n°03	81.260	8.000	15.826	36.42
Site n°04	86.170	8.910	24.646	39.6

I.3. Dosage des métaux dans les poissons

1. Poisson N °01 (minéralisation par voie sèche) :

Tableau 11: Concentration des métaux (mg/kg) trouvez dans le poisson n°01.

Elément	Concentration des métaux dans les organes (mg/kg)		
	<i>Muscles</i>	<i>Abats rouges</i>	<i>Squelette</i>
Sr	-	10.7	3.6
Cr	0.1	0.8	0.4
Mn	7.6	1.4	0.1
Fe	144.6	3.4	1.9
Co	0.1	0.04	0.03
Ni	0.2	0.2	0.1
Cu	10.5	9.4	0.3
Zn	-	77.2	4
Cd	0.053	-	-
Al	108.9	78.4	14.4
Pb	0.2	0.3	0.1

- : non déterminé.

2. Poisson N°02 :(minéralisation par voie humide) :

Tableau 12: Concentration des métaux (mg/kg) trouvez dans le poisson n°02

Elément	Concentration des métaux dans les organes (mg/kg)		
	Muscles	Abats rouges	Squelette
Sr	82.8	29.5	16.4
Cr	25	65.3	10.7
Mn	18.4	6.3	1.6
Fe	165.5	65.3	6
Co	1	2.6	0.1
Ni	9.2	38	3
Cu	2.1	1	0.1
Zn	26.3	32.4	31.4
Cd	0.022	-	-
Al	82.8	29.5	16.4
Pb	0.3	0.1	0.2

- : non déterminé.

Poisson N°03 (minéralisation par voie humide) :

Tableau13 : Concentration des métaux (mg/kg) trouvez dans le poisson n°03

Elément	Concentrations des métaux dans les organes (mg/kg)		
	<i>Muscles</i>	<i>Abats rouges</i>	<i>Squelette</i>
Sr	0.4	0.9	2.33
Cr	16.4	110.3	11.4
Mn	10.3	8.3	0.773
Fe	39.8	42.8	6.14
Co	0.6	3.2	0.06
Ni	4.2	50.4	3.12
Cu	3	9.1	0.06
Zn	52.5	79.2	2.33
Cd	-	-	-
Al	55.7	37.8	2.95
Pb	0.6	0.6	0.073

- : non déterminé.

II. Commentaires et Discussions

II.1 .Propriétés physicochimiques

II.1.1. Température :

Les températures moyennes enregistrées pendant le prélèvement varient entre une valeur minimale de 17.6°C et une valeur maximale de 18.3°C.

D'une manière générale, les températures enregistrées restent normales et représentables du niveau thermique de la saison de l'échantillonnage.

II.1.2. pH (potentiel d'hydrogène) :

On a constaté que les valeurs du pH de la surface d'eau dans notre zone d'étude sont très stables et dans les normes théoriques, elles sont dans l'intervalle entre 7.25 et 8.3.

II.1.3. Conductivité électrique :

Les valeurs des conductivités électriques obtenues dans les quatre sites d'études sont entre 1007 et 1753 $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$. Ces résultats montrent des variations importantes de ce paramètre entre les différents sites de prélèvement.

II.2. Analyse des métaux dans les eaux

- **Le manganèse :**

Les concentrations moyennes du manganèse les plus élevées se localisent au niveau du site 01 et 02 (0.282 et 0.280 mg/L respectivement), ces teneurs dépassent la norme admise par l'O.M.S (0.1 mg/L) (annexe III).

- **Le fer :**

Pour les quatre sites, les concentrations du fer sont importantes et au dessus de la norme (0.1 mg/L). La teneur du fer dans l'eau dans les quatre sites se traduit par le gradient de concentration suivant : S01 > S04 > S03 > S2.

- **Le nickel, le cobalt et le bore :**

La teneur en nickel et en bore de nos échantillons est de 0.06 mg/L et 0.145 mg/L respectivement, ces valeurs restent dans les normes, par contre les concentrations moyennes en cobalt sont de 0.162 mg/l légèrement au dessus de la norme (0.1 mg/L).

- **Le cuivre :**

L'ensemble des résultats obtenus pour le cuivre révèle d'une manière globale que toutes les valeurs restent au dessus de la norme (0.05 mg/L), Les concentrations moyennes du cuivre enregistrées sont comprises entre 2,20 mg/L et 2.23 mg/L.

- **Le cadmium :**

Selon le tableau 09 les concentrations moyennes en cadmium sont de $(2.14 \pm 1.7 \mu\text{g/L})$ légèrement au dessous de la norme fixée par l'O.M.S ($5 \mu\text{g/L}$). Nous notons que la concentration maximale est observée au niveau du site 04 ($2.21 \mu\text{g/L}$) et la concentration minimale est observée dans le site 01 ($1.98 \mu\text{g/L}$).

- **Le plomb :**

Les concentrations moyennes du plomb sont égales pour les quatre sites (0.055 mg/L) et sont dans les normes fixées par l'O.M.S (0.05 mg/Kg) (annexe III).

- **Eléments majeurs (Ca, K, Mg et Na) :**

L'OMS recommande pour la teneur en calcium dans les eaux destinée à la consommation humaine une valeur guide de 250 mg/L . D'autre part, la norme européenne des eaux de surface pour le Ca est 100 mg/L .

Alors que la teneur en calcium de nos échantillons est entre 15.826 et 26.025 mg/L et ces valeurs restent dans les normes.

Les teneurs moyennes en potassium, en magnésium et en sodium sont inférieures aux normes européennes (12 mg/kg pour K, 50 mg/L pour Mg et 150 mg/L pour Na) (annexe IV).

III.3 .Bioaccumulation des métaux dans les poissons

.Le strontium :

Les teneurs moyennes obtenus pour le strontium chez la carpe *cyprinus carpio* sont entre 0.4-0.9mg/Kg pour les muscles et les abats rouges, pour les squelettes ces valeurs sont moyennement importantes (3.4mg/kg).

.Le chrome :

Le chrome à été retrouvé dans les trois poissons, les deux plus grandes valeurs sont enregistrées dans la partie muscle des poissons N°02 (65.3mg/kg) et N°03 (110.3 mg/kg).ce qui sont supérieurs au valeur mentionnée par NRC (37.4 mg/kg) (annexe VI).

.Le manganèse :

Les plus grandes concentrations du manganèse sont détectées dans les muscles. Ces résultats varient du 7.6 au 18.4 mg/kg, ces teneurs restent supérieures en comparant avec les normes conseillées par le NRC qui est de l'ordre de 3.66 mg/kg.

.Le fer :

Nos résultats concernant le fer dans les muscles sont similaires à ceux rapportées par NRC.

.Cobalt :

À été retrouvé dans les toutes parties étudiés du poisson. La plus grande concentration (2.57 mg/kg) à été détecté dans les abats rouges du poisson n°02 .Cette teneur est expliqué par le plus fort potentiel d'accumulation des métaux lourds dans le foie et les reins.

.Le nickel :

Les valeurs de nickel dans les échantillons de poissons n°02 et n°03 des muscles et des abats rouges sont supérieures à celles indiquées par NRC qui est de 19.4mg/kg.

Dans le poisson N°01 en remarque que les concentrations du nickel détectées sont très inférieures aux normes, ces résultats peuvent êtres expliquées par la méthode de minéralisation utilisée pour ce poisson (l'influence de la température de calcination).

.Le cuivre :

Dans notre étude, les teneurs en cuivre trouvés chez *cyprinus carpio* du barrage sont aux dessous des concentrations mentionnés par FAO/WHO (annexe V).

.Le zinc :

La concentration du zinc dans les muscles du poisson n°02 est supérieure à telle indiqué dans le tableau des normes.

Dans les muscles du poisson n°03 la concentration reste dans le cadre des valeurs commandées.

.Le cadmium :

La concentration de cet élément à été déterminé dans les muscles, les valeurs détectées sont respectivement pour les poissons n°01 et n°02 0.0531 mg/kg et 0.022 mg/kg. Ces résultats restent inférieurs à celles mentionnées dans les normes FAO/WHO (0.5 mg/kg).

.Le plomb :

Nos résultats concernant le plomb dans les trois parties du poisson (muscles, abats rouges, squelettes) analysées sont dans l'intervalle 0.073 et 0.689 mg/Kg qui restent légèrement supérieurs aux concentrations rapportées par FAO /WHO et E.C (annexe V).

Les figures suivantes donnent les teneurs des métaux étudiés dans les trois organes (muscles, abats rouges, squelettes) des trois échantillons de poissons.

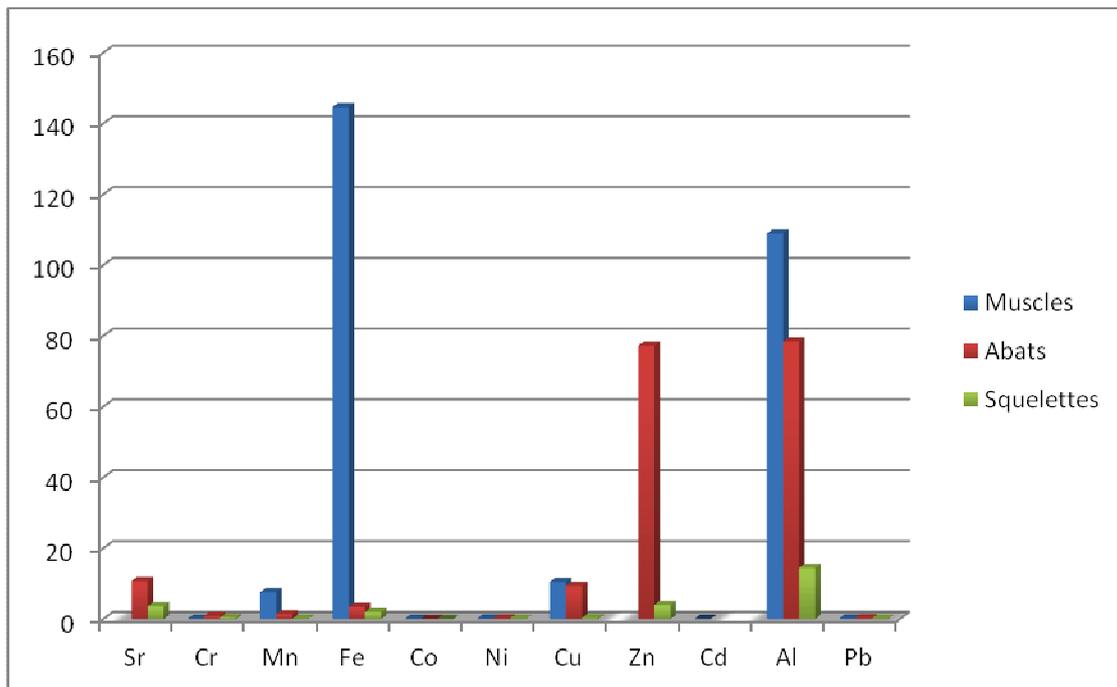


Figure 37 : Teneurs des métaux dans les trois parties étudiés du poisson n°01

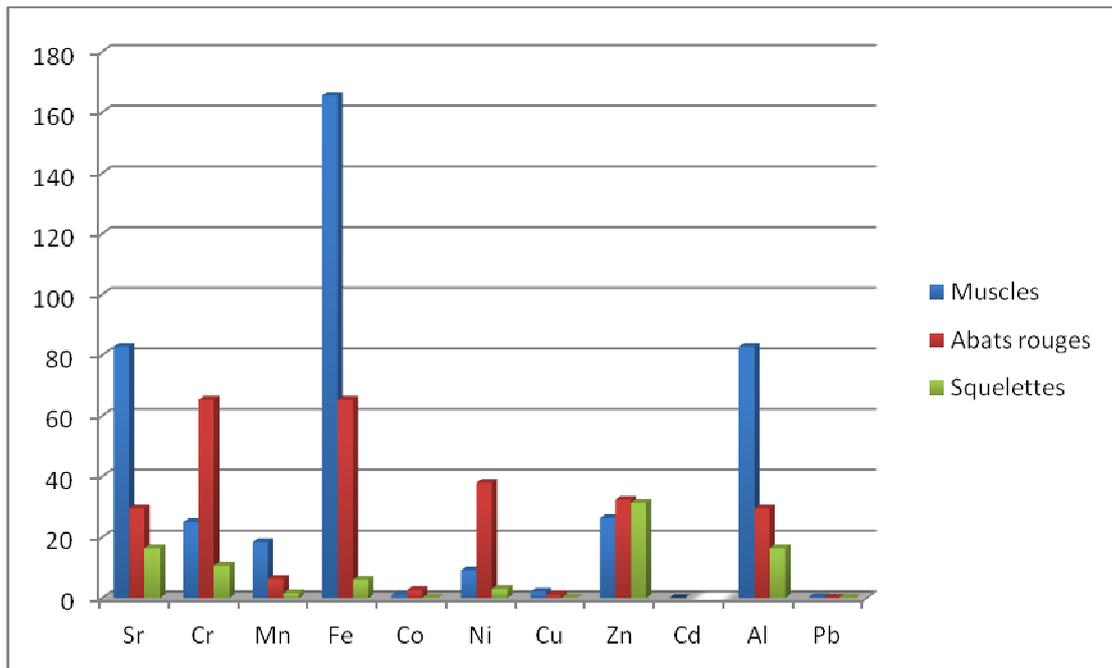


Figure 38 : Teneurs des métaux dans les trois parties étudiés du poisson n°02

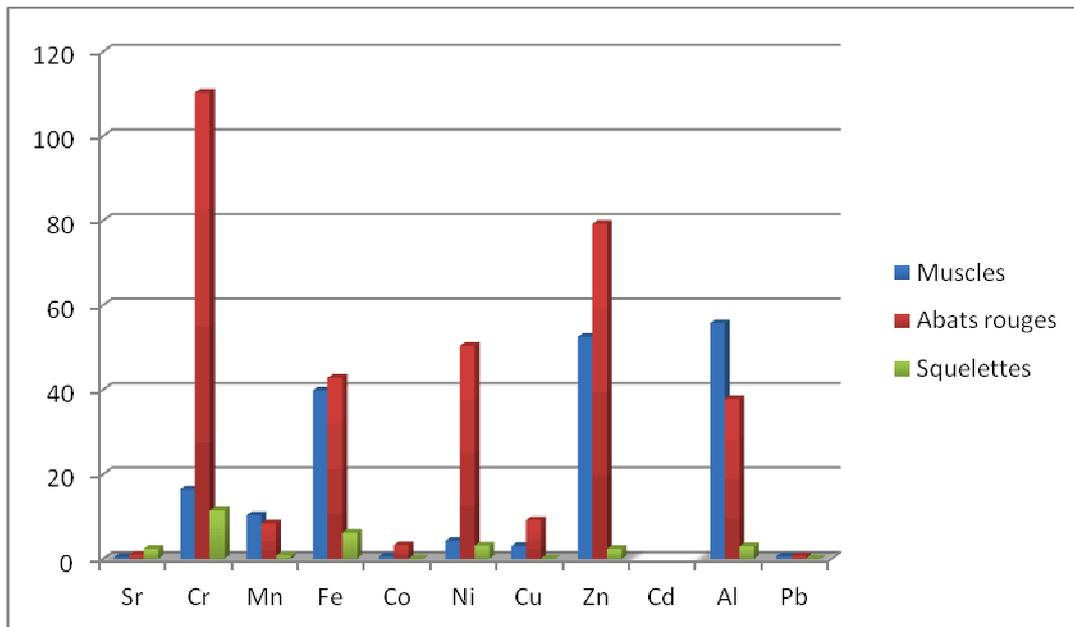


Figure 39 : Teneurs des métaux dans les trois parties étudiés du poisson n°03

IV. Étude statistique des trois échantillons de poissons par organe

IV. Muscles

Tableau 14: Teneur en métaux des muscles de poissons (Moyenne±SD).

Métal	Nombres des échantillons	Moyenne ± SD (mg/Kg)
Sr	2	41.6 ± 28.26
Cr	3	13.83 ±12.64
Mn	3	12.1 ± 5.62
Fe	3	116.63 ± 67.35
Co	3	0.56 ± 0.15
Ni	3	4.53 ± 4.5
Cu	3	5.2 ± 4.61
Zn	2	39.4 ± 10.52
Cd	2	0.037 ± 0.021
Pb	3	0.366 ± 0.208

IV. Abats rouges

Tableau 15: Teneur en métaux des abats rouges des poissons (Moyenne±SD).

Métal	Nombres des échantillons	Moyenne±SD (mg/kg)
Sr	3	13.7 ±8.53
Cr	3	58.8 ±15.03
Mn	3	5.33 ±3.55
Fe	3	37.16 ±31.33
Co	3	1.94 ±1.67
Ni	3	29.53 ±26.14
Cu	3	6.5 ±4.76
Zn	3	62.93 ±26.46
Cd	-	-
Pb	3	0.33 ±0.25

IV. Squelettes

Tableau 16: Teneur en métaux des squelettes des poissons (Moyenne±SD).

Métal	Nombres des échantillons	Moyenne±SD (mg/kg)
Sr	3	7.44 ± 1.78
Cr	3	7.5 ± 6.15
Mn	3	0.82 ± 0.75
Fe	3	4.68 ± 2.4
Co	3	0.06 ± 0.03
Ni	3	2.07 ± 1.71
Cu	3	0.15 ± 0.12
Zn	3	12.57 ± 7.32
Cd	-	-
Pb	3	0.12 ± 0.06

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie

- [1] : **DERRAG Z**, 2010, thèse de magister, Recherche de quelques métaux lourds chez la carpe commune (*Cyprinus carpio*, 1758) du barrage ELIZDIHAR de SIDI ABDELLI (W.TLEMCEN).
- [2] : **BILLARDS R**, 1995, Les carpes biologie et élevage. Institut National de la Recherche Agronomique. INRA, Paris, p 376.
- [3] : **A.N.B.T**, novembre 2001, Etude d'impact sur l'environnement du barrage Hammam Boughrara. Rapport final, volume I, A.N.B. Algérie. p124.
- [4] : **EL HAOUATI H, GUECHAOUI M. et ARAB A**, Effet de l'eutrophisation sur les milieux aquatiques : Barrage de Hammam Boughrara, Tlemcen .p224.
- [5] : **KHELIL M.A**, 1994, Travaux pratiques de biologie Animale. Ed. O.P.U.Paris , p 65
- [6] : **BOURDIAL L**,2000-La foret et la faune.Larousse.Paris, p 143 .
- [7] : **FELIX J et TRISKJA J**, 1975-La faune et la flore d'Europe. Ed. Grund. Paris. p 342.
- [8] : **ARRIGON J**, 1976- Aménagement écologique et piscicole des eaux douces. Ed. Gauthier6 Villars, Paris, 3^{ème} Edition, p 340 .
- [9] : **D.P.R.H**, 2006, Direction de la Peche et Ressource Halieutique.
- [10] : **BELAUD A.**, 1996-Oxygénation de l'eau en aquaculture intensive.
- [11] : **BILLARD R.**, 1997- Les poissons d'eau douce des rivières de France. Identification, inventaire et repartition des 83 espèces. Edition :Delachaux et niestlé. p 192 .
- [12] : **EL-HADEF S**, 2005- Controle et inspection du poisson, manuel pedagogique- univ Mentouri canstantine. Faculté des sciences. Département des Sciences Vétérinaire p 45.
- [13] : **ARRIGON J.**, 1998- Aménagement piscicole des eaux douces. p 589.
- [14] : **DOSDAT A, SERVAIS F, MATAILLER R, HUELVAN C, DESBRAYERES E**, 1996- Comparaison of nitrogenous losses rates from Atlantic Salmon. Aquaculture, 141. p 107-127.
- [15] : **BILLARD R.**, 1995- Les carpes biologie et élevage. Institut National de la Recherche Agronomique. INRA, Paris, 376 p.
- [16] : **DUBOURGEL M.**, 1955- La peche et les poissons de rivière. S.I., Livre de poche, p375.
- [17] : **MUUS et DUHLSTROM.**, 1991- Guide des poissons d'eau douce et pêche. Edition originale. Europas Ferksvandsfisk. p220.
- [18] : **MIQUEL M.**, 2001- Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Office parlementaire d'évaluation des choix Scientifiques et Technologiques (O.P.E.C.S.T) France : p 40

- [19] : **INRA**, 1995- Les micropolluants métalliques dans les boues résiduares des stations d'épuration Urbaines, Institut de la recherche Agronomique. France.
- [20] : **DUCHAUFOR P.**, 1997- Abrégé de pédologie .5^{ème} édit. Masson.
- [21] : **GROUSSET F et DONARD O.**, 1989- Des métaux lourds dans les sédiments. Le courrier du CNRS, N°12, dossiers scientifiques : p 35-36.
- [22] : **BENGUADA-RAHAL.W**, 2012.Thèse de doctorat, Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême de l'ouest algérien .
- [23] : **DUQUESNES S**, 1992.Thèse doctorat en biologie et santé université des sciences et technologie de Lille.France : Bioaccumulation métallothioneines chez trois espèces de poissons du littoral- Nord pas de calais,p 264.
- [24] : **BONTOUX J.**, 1993- Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées, eaux de boissons, Edt. CEBEDOC. p169
- [25] : **GAUJOUS D.**, 1995- La pollution des milieux aquatiques, Aide mémoire. Edt. Technique et documentation-Lavoisier. Paris : p 220.
- [26] : Ministère Fédéral Allemand de la Coopération Economique et du Développement., 1995. « Rapport technique ».
- [27] : **HOUOT O et TARALLO P**, 1991- Le Cuivre dans les oligoéléments en médecine et en biologie. Editions médicales internationales .p 459-470.
- [28] : **BARUTHIO F**.Toxicologie des éléments traces essentiels. In Oligoéléments en médecine et en biologie. Editions médicales internationales : p 213-240.
- [29] : **GUTHRIE F.E et PERRY J.**, 1980- Introduction to environmental toxicology. Black Well Scientific publications: p 484.
- [30] : **IFREMER**, 2001- Evaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en méditerranée : résultats de la campagne 2000-Réseau Intégrateurs Biologique.
- [31]: **BOUGUERRA M**, 1997, La pollution invisible. Ed presses Universitaires de France ; Paris : p 204-208-214.
- [32] : **BELHADJ H**, 1996, Mémoire d'ingénieur en CQA.Univ de Tlemcen, Evaluation des teneurs en métaux lourds (Pb, Hg, Cd, Cu, Cr) chez les mollusques (*Mytilus edulis*, *Patella vulgata*) et dans les sédiments de la côté atlantique marocaine. p1-24.
- [33] : **J. MOUTTE**, *Notes sur l'analyse par spectrométrie d'émission atomique à source plasma*, Ecole des Mines de Saint-Etienne

- [34] : **Manuel VARIAN**, novembre 2001, *Guide d'utilisation du logiciel ICP VISTA PRO*, version 3.0
- [35] : **Karine DESBOEUF**S, *Technologie plasma et applications en chimie analytique : ICP-AES et ICPMS*, Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA), Université Paris Diderot, UMR CNRS 7583.
- [36] : **M. RICHARD**, septembre 2009, *Analyse de la composition élémentaire de Pecten maximus par HR-ICP-MS Element 2 : développements méthodologiques et interprétations écologiques*, Université de Brest.
- [37] : **Marion CORNEILLAT**, novembre 2007, *Instrumentation en ICP-AES*, UFR Sciences et Techniques, Université de Bourgogne.
- [38] : **LEMEHDI Adel**, Mémoire de Master, 2008, *Mise au point de méthode analytique par ICP-AES et fluorescence XRF*, p 13.
- [39] : **RODIER J. (1984)**. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod Paris.
- [40] : **PESCOD M.B. (1985)**. Design, operation and maintenance of wastewater stabilization ponds in treatment and use of sewage effluent for irrigation. Ed Pescodand Arar, 93-114.
- [41] : **KHAROUBA M**, 2013, Mémoire de master, Investigation des taux de salinité dans la région la station de dessalement de Béni Saf, p 32-34.
- [42] : **Bouhadiba Chenait S**, Mémoire de Magister, Evaluation des concentrations des quatre métaux lourds (Pb, Cd, Cu, Zn) chez le Mulet (*Mugil cephalus* Linné 1758) pêché dans les baies d'Oran et de Béni saf.
- [43] : Crosby, N. T. (1977). Determination of metals in foods: A review. The Analyst, 102, 223-268.
- [44] : Demirel, S., Tuzen, M., Saracoglu, S., & Soylak, M. (2008). Evaluation of various digestion procedures for trace element contents of some food materials. Journal of Hazardous Materials, 152, 1020-1026.
- [45] : **GHALI S**, 2008, Mémoire de Magister, Etude de la carbonisation d'un précurseur végétal, les noyaux d'olives. Utilisation dans le traitement des eaux, p 38.
- [46] : **M. G. M. Alam, A. Tanaka, G. Allinson, L. J. B. Laurenson, F. Stagnitti and E. Snow**, 2002, "A Comparison of Trace Element Concentrations on Cultured and Wild Carp (*Cyprinus Carpio*) of Lake Kasumigaura, Japan," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 53, pp. 348-354.
- [47] : **EU**, 2001. Commission Regulation as regards heavy metals, Directive, 2001/22/EC, No: 466.
- [48] : **Mustafa Turkmen, Canan Ciminli**, 2006, Determination of metals in fish and mussel species by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry.

ANNEXES

**Annexe I : Courbes d'étalonnage apartir du
spectromètre ICP-OES HORIBA JOBIN YVON
ULTIMA 2.**

Annexe II : Coefficients de corrélations des courbes d'étalonnages.

Elément	Longueur d'onde (nm)	Coefficient de corrélation R	Valeur de R ²
La gamme d'étalonnage de 0 à 1 mg/L			
Al	396.152	0.99964	0.99914
B	208.959	0.99964	0.99915
Ca	317.933	0.99751	0.99403
Cd	228.802	0.99998	0.99995
Co	228.616	0.99995	0.99989
Cr	205.552	0.99963	0.9991
Cu	327.396	0.99997	0.99993
Fe	374.556	0.99913	0.99791
K	766.490	0.9998	0.99953
Mg	279.806	0.99997	0.99993
Mn	280.106	0.99997	0.99993
Na	589.592	0.99904	0.99771
Ni	231.604	0.99981	0.99955
Pb	220.353	0.99985	0.99965
Sr	215.284	0.99998	0.99996
Zn	202.551	0.99994	0.99997

Elément	Longueur d'onde	Coefficients de corrélation	Valeur de R ²
La gamme d'étalonnage de 0 à 0.1 mg/L			
Al	396.152	0.99968	0.99924
Co	228.616	0.99848	0.99636
Cr	206.149	0.99875	0.99939
Cu	324.754	0.99923	0.99816
Fe	374.556	0.99846	0.99615
Mn	257.610	0.99928	0.99828
Ni	231.604	0.99893	0.99744
Pb	220.353	0.99937	0.99843
Sr	215.284	0.99794	0.99506
Zn	213.856	0.99796	0.99512

**Annexe III: Teneurs admissibles de certains métaux dans les eaux de surface
d'après l'O.M.S.**

Elément	Valeur indiquée (mg/l)	Elément	Valeur indiquée (mg/l)
Arsenic	0.05	Manganèse	0.1
Cadmium	0.005	Mercure	0.01
Chrome	0.05	Plomb	0.05
Cuivre	0.05	Sélénium	0.01
Fer	0.1	Zinc	5

Annexe IV: La norme européenne des éléments majeurs dans les eaux de surface.

Elément	Na	K	Mg	Ca	Cl
Concentration (mg/l)	150	12	50	100	200

Annexe V : Teneurs des métaux admissibles pour les poissons

Organisation /Pays	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Communauté Européen (C.E)	-	-	-	-	0.05	0.2
FAO(1983)	-	-	30	30	-	0.5
FAO/WHO(1989)	-	-	30	40	0.5	0.5
Union Européen (U.E) (2001)	-	-	10	-	0.1	0.1

Annexe VI : Teneurs des métaux admissibles pour les poissons selon le conseil de recherche national (NRC) canadien.

Organisation	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Conseil de Recherche National, Canada	34.7	3.66	142	0.182	19.4	2.34	26.6	0.043	0.065

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Résumé :

Dans cette étude ,les concentrations des éléments majeurs (Na ,K ,Ca ,Mg) et traces (Cd ,Co ,Cr ,Cu ,Fe ,Ni ,Pb) sont déterminées dans les eaux de barrage Hammam Boughrara ainsi que la teneur de quelques éléments traces chez trois organes (muscles, abats rouges, squelette) de la carpe commune une espèce bioindicatrice de pollution dans cette région.

L'analyse des métaux dans les eaux et les poissons à été réalisé par ICP-OES.

D'après les résultats obtenus, on constate que le cuivre, le fer, le manganèse et le cobalt s'enregistre avec des concentrations élevées.

Pour la petite carpe (*ciprinus carpio*), le Zinc (Zn), le Plomb(Pb), le Nickel(Ni), le Cobalt(Co) et le Chrome(Cr) sont les métaux les plus abondants. À l'aide d'une analyse statistique on a pu classer les gradients de la bioaccumulation dans chaque organe, le fer comme l'élément le plus abondant dans les muscles, le Zinc et le Chrome sont détectés avec des teneurs élevées dans les abats rouges et les squelettes.

Mots –clés : Eléments traces métalliques, la carpe commune (*ciprinus carpio*), Barrage Hammam Boughrara, ICP-OES.

Abstract:

In this study, the concentration of the major elements (Na, K, Ca, Mg) and trace (Cd ,Co ,Cr ,Cu ,Fe ,Ni ,Pb) are determined in dams waters barrage Hammam Boughrara and the content of some trace elements in three organs (muscle , organ meats and skeletons) of common carp a bioindicator species of pollution in this region.

Analysis of metals in waters and fish was carried by ICP-OES.

From the result, we find that copper, iron, manganese and cobalt registers with high concentrations in dams waters.

For small carp (*ciprinus carpio*), zinc (Zn), lead (Pb) ,nickel(Ni) , cobalt(Co), chromium(Cr), are the most abundant metals. Using statistical analysis, one could classify gradients bioaccumulation in every organ; Iron as the element most abundant in muscles, Zinc and Chrome are detected with high contents in organ meats and skeletons.

Keys words: Elements metal traces, common carp (*ciprinus carpio*), dam Hammam Boughrara, ICP-OES.