

Contamination métallique d'*Anguilla anguilla* L. au niveau de l'estuaire du Loukkos (Maroc)

Metal contamination of Anguilla anguilla L.
on the Loukkos estuary (Morocco)

Mohamed EL MORHIT^{1*}, Mohamed FEKHAOUI¹, Abdallah EL ABIDI³
& Ahmed YAHYAOU⁴

1. Université Mohamed V-Agdal, Institut Scientifique. Département de Zoologie. Unité de Pollution et d'Ecotoxicologie, avenue Ibn Battouta B.P. 703, Rabat - Maroc. * (morhit_med@yahoo.fr).

2. Institut National d'Hygiène, Laboratoire d'Hydrologie, d'Hygiène Industrielle et Environnementale. 4 Avenue Ibn Battouta B.P. 1014 R.P. Rabat - Maroc.

3. Université Mohammed V-Agdal, Faculté des Sciences, Laboratoire de Biodiversité et Aquaculture, Rabat.

Résumé. La population des civelles est en net déclin depuis les années 1980. Les raisons sont multiples et complexes, notamment la dégradation de leurs habitats (obstacles à leurs migrations anadrome et catadrome, aménagements des rivières), la surpêche, les pathogènes, le changement climatique (modification du courant du Gulf Stream), et la pollution métallique. Face à une situation critique, nous avons entrepris une étude qui consiste à évaluer la pollution métallique de l'estuaire de Loukkos et d'évaluer son impact sur les ressources halieutiques en utilisant une approche basée sur l'étude des métaux chez les poissons. A cet effet, l'étude de la contamination de la faune ichtyologique de cet estuaire, par l'analyse et le suivi de 6 éléments (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb et Cd) dans le corps entier du poisson *Anguilla anguilla*, témoigne d'une présence notable de ces micropolluants chez cette espèce. Le degré de contamination le plus élevé correspond au Cd avec des taux supérieurs aux normes de la communauté économique européenne (CEE). Les niveaux de contaminations métalliques des anguilles du Loukkos pourraient être dangereux pour la consommation humaine de la chair musculaire de ce poisson.

Mots-clés : *Anguilla anguilla* L., métal, rejets, consommation, estuaire, Maroc.

Abstract. Glass eels population is in sharp decline since the 1980s. The reasons are numerous and complicated, especially the degradation of their habitats (barriers to their anadromous and catadromous migrations, development of rivers), overfishing, disease, climate change (change in the "Gulf Stream"), heavy metals pollution. Due to this critical situation, we studied this metal pollution in the Loukkos estuary and assessed its impact on fisheries resources by the study of metals in fish. To this aim, the study of fish fauna contamination in the estuary, through analysis and monitoring six chemical elements (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb and Cd) in the whole body of the fish species (*Anguilla anguilla*). The results show a significant presence of these micropollutants in this species. The highest level of contamination is due to the Cd with rates higher than those of the European economic community (CEE) standards. The levels of metal contamination of the *Anguilla anguilla* could be dangerous for human consumption of the flesh of this fish.

Keywords : *Anguilla Anguilla* L., metal, discharges, consumption, estuary, Morocco.

Abridged English version

Introduction

Urban effluents contain not only well identified industrial pollutants but also a set of emerging contaminants. These pollutants include thousands of chemicals including pharmaceuticals and personal care products that contain a lot of heavy metals. The health and environmental impact of these substances has recently become a concern for both the scientific community and the agencies of environmental health regulations as well. Their biological activities in these substances are so high that they could act in low doses. Data synthesis of the literature reveals a low environmental concentrations ranging from ng to µg/L.

Methodology

The study area is the low Loukkos estuary, located at the Moroccan Atlantic coast (35°9' - 35°14' north latitude and 6°5' - 6°30' west longitude). The estuary receives huge organic and inorganic effluents of domestic, agricultural and industrial provenances. To achieve this study, five stations were selected at the estuary. The choice of these stations has been done for the following reasons: the

presence of industry (freezing, canning, fish meal production...), the presence of intensive fishin, agriculture and domestic wastewater.

- Station 1 Dhiria: located at the dam guard 21 km from the mouth and receives the upstream drainage of rice fields.

- Station 2 Ainchouk: located near a channel 16 km from the mouth.

- Station 3 Baggara: 9 km away from the mouth and characterized by overgrazing and large extension of agricultural area.

- Station 4 Grangha: located 3 km from the mouth and receives urban and industrial liquid discharges of the city of Larache.

- Station 5 Port of Larache located at the mouth of Loukkos river.

Three samplings were done in January, March and June 2007., The fish was collected by fishermen, and stored at 4 ° C. The samples are dried in the laboratory, in a 80 ° C oven during 48 hours until constant weight before grinding. Three doses of 0.5 g of the dried samples were mineralized at 120 ° C for 4 hours in the presence of 4 ml of nitric acid. The determination of metal elements was performed on the

diluted digests. Copper (Cu), chromium (Cr), lead (Pb) and cadmium (Cd) were assayed by atomic absorption and iron (Fe) and zinc (Zn) by flame furnace.

Results

The analyses of the average contents of Fe, Zn, Cu, Cr, Pb and Cd realized during three campaigns of January, March and June, 2007 revealed the results represented in the figure 3a and 3b.

The contents of Fe found in glass eel in the studied estuary have reached a level of about 140 µg/g in the station 3, while the lowest content of 48.24 µg/g was obtained in the station 2.

The longitudinal profile of the glass eel shows that the highest levels of Fe are obtained in the north of station 3 where come the different main collectors of waste.

The Zn concentrations found in glass eel show that the highest content of about 56.56 µg/g was obtained in the station 2. Whereas the lowest content of about 34.58 µg/g is obtained in the station 5.

The elevation of the content in the north of station 2 is probably due to the presence of surface treatment units, runoff and biocides.

The rates of Cu found in glass eel collected from the estuary show values ranging from 0.51 µg/g to 3.50 µg/g obtained in the north of station 5 and in station 4 respectively.

The Cr rates in the identified glass eel show that the

higher value of 3.95 µg/g was obtained in the station 4. While the lowest value of 1.89 µg/g was obtained in the station 1. This is due to the presence of discharges that contain pigments and paints, fertilizers, etc...

The rates of Pb found in glass eel show that the highest rate of 0.05 mg / g was obtained in the station 1. Whereas the lowest rate of 0.02 µg/g was obtained in the station 4. The cause is the smoke from smelters, incinerators, vehicle exhausted fumes.

The rates of Cd found in glass eel show that the highest value (0.52 µg/g) was obtained in station 2, while the lowest concentration (0.27 µg/g) was obtained in station 1. This is due to the discharge of city waste of Larache (industrial, rural and urban origin), also due to the importance of factory discharges freezing, canning and fishmeal. We can then establish the order of the enrichment of the stations with each metal element and also the order of storage of the metal elements in each station. The results are reported in Table 2.

Considering the order of enrichment of glass eel along the Loukkos low estuary, these fishes show very high concentrations of essential metals Fe and Zn and toxic metals (Cd and Pb), with the following accumulation gradient : Fe>Zn>Cr>Cu>Cd>Pb

If we compare the revealed metals contents, we can notice that the Fe is the most concentrated in the eel while Pb is the lowest represented metal.

INTRODUCTION

Les effluents urbains renferment non seulement des contaminants industriels bien identifiés mais également un ensemble de polluants émergents. Ces polluants regroupent des milliers de substances chimiques dont les produits pharmaceutiques et les produits de soins contenant beaucoup de métaux lourds. L'impact sanitaire et écologique de ces substances est devenu récemment un sujet préoccupant, à la fois pour la communauté scientifique que pour les agences de réglementation environnementale et sanitaire. Leur activité biologique est généralement élevée dans la mesure où ces substances agissent à faibles doses. Les principaux risques proviennent généralement des expositions chroniques (long terme) et de la bioaccumulation de ces substances dans les organismes aquatiques avec des implications potentielles sur la santé humaine.

Dans sa partie aval, l'estuaire du Loukkos (Larache) peut être considéré comme un milieu assez perturbé surtout son port qui reçoit l'ensemble de la charge polluante véhiculée par le cours central.

Le barrage situé en amont de l'estuaire, sépare les parties marine et dulçaquicole du fleuve. Il constitue un obstacle majeur pour la colonisation des civelles, non seulement par son effet direct d'obstacle physique, mais aussi par la modification de l'hydrodynamisme en amont de l'estuaire (Lafaille *et al.* 2006).

De plus, les rejets urbains et/ou industriels qui débouchent dans différents endroits de l'estuaire entraînent

des modifications du fonctionnement hydrologique et de la qualité de l'eau et du sédiment. Ceci, conduit à des pertes de la biodiversité ainsi que des pertes et/ou des modifications des habitats benthiques du site (El Morhit *et al.* 2008).

La civelle a depuis toujours fait l'objet de nombreux travaux scientifiques du fait qu'elle constitue un exemple original de poisson migrateur thalassotoque à long cycle de vie et à migration génésique de grande amplitude (Yahyaoui 1991). C'est une ressource importante pour les pêcheurs locaux qui maîtrisent bien sa capture dans l'exploitation intensive est en cours de réglementation par les services concernés. Les civelles pêchées étaient et sont actuellement destinées en totalité à l'exportation vers l'Europe (Amilhat 2007 ; Melhaoui & Boudot 2009).

L'anguille constitue un très bon modèle de laboratoire ; ce poisson a été utilisé dans de nombreuses études, notamment, celles de génétique (Maes 2005), de parasitologie (Sure & Sidall 1999) et d'écotoxicologie (Lemaire-Gony *et al.* 1995 ; Zimmermann *et al.* 2004).

Outre son intérêt scientifique, l'anguille présente un intérêt économique indéniable, notamment dans des pays européens et ceux de l'Asie du Sud-est. Sous l'égide du principe de précaution, certains pays limitent ou interdisent la pêche à la civelle (Prouzet *et al.* 2007). Au Maroc, par contre, dans la partie la plus méridionale de son aire de distribution naturelle, les anguilles au stade civelle sont l'une des espèces les plus surexploitées dans les eaux marines et continentales aussi bien au niveau du littoral atlantique que méditerranéen.

Les civelles ont une longueur moyenne de 7,5 cm. Leur corps s'allonge et devient cylindrique (Fig. 1). D'abord transparentes, elles entament une migration anadrome influencée par plusieurs facteurs environnementaux (température, dessalure, pollution, etc.).

Les statistiques de pêche (1950–2006), montrent un déclin plus important et généralisé des captures d'anguilles à tous les stades de son développement. Les causes en sont multiples : la surexploitation, les aménagements hydrauliques qui dégradent ou même détruisent l'habitat de l'Anguille et en particulier sa zone de croissance, ainsi que les pollutions multiples (agricole, industrielle et domestique) (Azeroual & Yahyaoui 2006 ; El Morhit *et al.* 2009).

Pour confirmer ceci, nous envisageons dans ce travail d'évaluer le niveau d'accumulation des éléments traces métalliques (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb et Cd) dans ce poisson couramment pêchés dans le système estuarien du Loukkos en vue d'une estimation du risque sanitaire encouru par la population qui le consomme.



Figure 1. Civelles (El Morhit 2009)
Figure 1. Glass eels (El Morhit 2009)

MATERIEL ET METHODE

Stations d'étude

La zone d'étude est l'estuaire du bas Loukkos, située sur la côte atlantique Marocaine dont le périmètre est compris entre 35° 9' - 35° 14' de latitude Nord et 6° 5' - 6° 30' de longitude Ouest. L'estuaire reçoit une forte charge organique et minérale engendrée par des rejets d'origine domestique, agricole et industrielle. Cinq stations ont été

retenues (Fig. 2). Le choix de ces stations a été fait en fonction des industries implantées dans la zone (congélation, conserverie, farine de poisson...), la présence d'une grande activité de pêche, les déchets des usines, l'agriculture et les eaux usées domestiques.

- Station 1 Dhiria : située au niveau du barrage de garde à 21 km de l'embouchure et reçoit les eaux de drainage de la riziculture située en amont.

- Station 2 Ain Chouk : située à proximité d'un chenal à 16 km de l'embouchure.

- Station 3 Baggara : distante de 9 km de l'embouchure et caractérisée par un surpâturage, une bonne extension de terrains agricoles.

- Station 4 Grangha : située à 3 km de l'embouchure, reçoit les rejets liquides urbains et industriels de la ville de Larache.

- Station 5 Port de Larache : située au niveau de l'embouchure du Loukkos.

Echantillonnage et méthode d'analyse

Lors de trois campagnes (janvier, mars et juin 2007) les poissons sont prélevés par les pêcheurs, puis sont conservés à 4°C. Au laboratoire, ils sont séchés à l'étuve pendant 48 heures à 80°C jusqu'à obtention d'un poids constant. Ils sont ensuite broyés. Trois prises de 0,5 g de poudre sèche ont été minéralisées à 120°C pendant 4 heures en présence de 4 ml d'acide nitrique (Tahiri *et al.* 2005). Le dosage des éléments métalliques a été effectué sur les minéralisats après dilution (Auger 1989 ; Bouachrine *et al.* 1998). Le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le plomb (Pb) et le cadmium (Cd) ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique à four et à flamme dans le cas du fer (Fe) et du zinc (Zn).

La validité des méthodes analytiques a été vérifié par contrôle interne à l'aide d'échantillons standards (Conseil National de Recherche du Canada : BCSS-1) et par contrôle externe à l'aide d'exercice d'intercalibration (I.A.E.A. 1991).



Figure 2. Localisation des stations dans la zone d'étude
Figure 2. Localization of stations in the study zone.

RESULTATS

Variation des teneurs métalliques chez *Anguilla anguilla*

Les analyses des teneurs moyennes du Fe, Zn, Cu, Cr, Pb et Cd réalisées durant les trois campagnes de janvier, de mars et de juin 2007 ont révélé les résultats représentés dans la figure 3a et 3b.

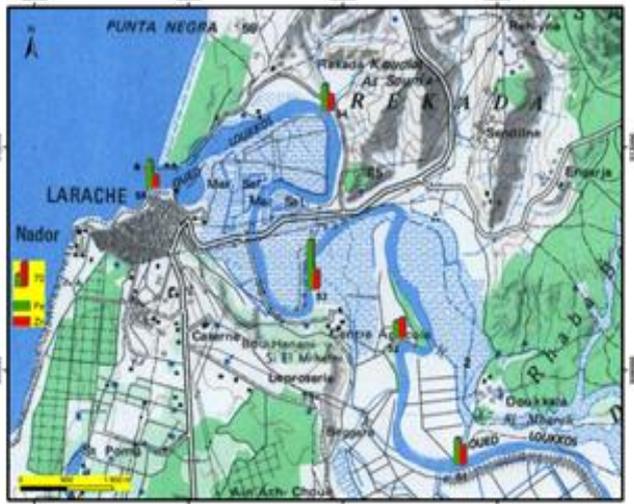


Figure 3a. Teneurs métalliques moyennes en Fe et Zn chez *Anguilla anguilla* ($\mu\text{g/g}$ du poids sec), au niveau de l'estuaire du Loukkos.

Figure 3a. Average metallic contents of Fe and Zn of *Anguilla anguilla* ($\mu\text{g/g}$ of the dry weight), in the Loukkos estuary

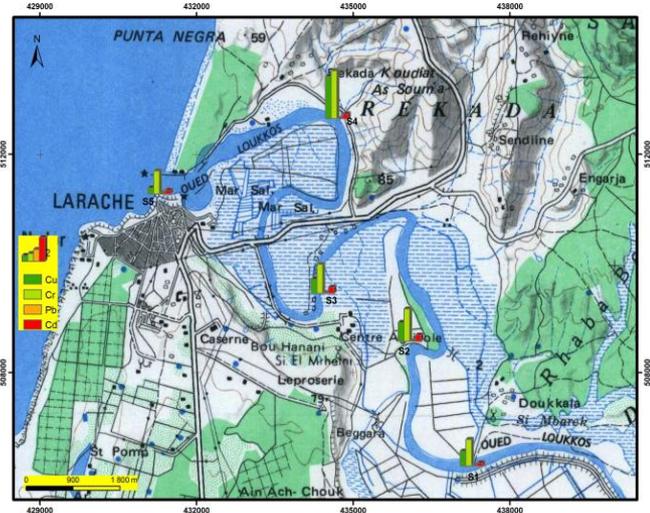


Figure 3b. Teneurs métalliques moyennes en Cu, Cr, Pb et Cd chez *Anguilla anguilla* ($\mu\text{g/g}$ du poids sec), au niveau de l'estuaire du Loukkos.

Figure 3b. Average metallic contents of Cu, Cr, Pb and Cd of *A. anguilla* ($\mu\text{g/g}$ of the dry weight), in the Loukkos estuary

Les teneurs en Fe relevées dans les civelles de l'estuaire ont atteint une teneur de l'ordre de $140 \mu\text{g/g}$. Cette valeur a été obtenue dans la station 3, alors que la teneur la plus faible, de l'ordre de $48,24 \mu\text{g/g}$ obtenue dans la station 2. Le profil longitudinal des civelles montre que les teneurs en Fe les plus élevées sont obtenues au nord de la station 3, site où se rencontrent les collecteurs principaux des déchets.

Les teneurs en Zn relevées dans les civelles montrent que la valeur la plus élevée, de l'ordre de $56,56 \mu\text{g/g}$, est

obtenue dans la station 2. Alors que la teneur la plus faible de l'ordre de $34,58 \mu\text{g/g}$ est obtenue dans la station 5.

L'élévation de la teneur au nord de la station 2 est probablement due à la présence des unités de traitement de surfaces, les eaux de ruissellement et les biocides.

Les teneurs du Cu relevées dans les civelles prélevées de l'estuaire montrent des valeurs entre $0,51 \mu\text{g/g}$ comme teneur minimale obtenue au nord de la station 5 et $3,50 \mu\text{g/g}$ comme teneur maximale obtenue dans la station 4.

Les teneurs en Cr relevées dans les civelles montrent que la teneur la plus élevée est de l'ordre de $3,95 \mu\text{g/g}$ obtenue dans la station 4. Alors que la teneur la plus faible est de l'ordre de $1,89 \mu\text{g/g}$ obtenue dans la station 1. Ceci est lié à la présence de rejets chargés en pigments et peintures, engrais, etc.

Les teneurs en Pb relevées dans les civelles montrent que la teneur la plus élevée est de l'ordre de $0,05 \mu\text{g/g}$ obtenue dans la station 1. Alors que la teneur la plus faible est de l'ordre de $0,02 \mu\text{g/g}$ obtenue dans la station 4. Ceci est dû aux retombées des fumées des fonderies, des incinérateurs et des gaz d'échappement des véhicules.

Les teneurs en Cd relevées dans les civelles montrent que la teneur la plus élevée de l'ordre de $0,52 \mu\text{g/g}$ est obtenue dans la station 2. Alors que la teneur la plus faible de l'ordre de $0,27 \mu\text{g/g}$ est obtenue dans la station 1. Ceci est dû au déversement des rejets urbains de la ville de Larache, d'origine industrielles, rurales et urbaines, et aussi à l'importance de rejets des usines de congélation, de conserverie et de farine de poisson.

Ainsi on peut établir l'ordre d'enrichissement des stations pour chaque élément métallique (Tab.1) ainsi que l'ordre d'accumulation des éléments métalliques pour chaque station. Les résultats obtenus sont reportés sur le tableau 2.

En ce qui concerne l'ordre d'enrichissement des civelles le long de l'estuaire du bas Loukkos, celles-ci montrent des concentrations très élevées pour les métaux essentiels Fe et Zn et les métaux toxiques (Cd et Pb), selon le gradient d'accumulation suivant : $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Pb}$.

Si nous comparons les métaux entre eux, il s'avère que le Fe est le métal le plus concentré dans les anguilles alors que le Pb est le plus faiblement représenté.

Tableau 1. Enrichissement par ordre décroissant des stations de l'estuaire en éléments métalliques

Table 1. Decreasing order enrichment by metallic elements of estuary stations

Métaux	Ordres d'enrichissement
Fe	S3 > S5 > S1 > S4 > S2
Zn	S2 > S1 > S3 > S4 > S5
Cu	S4 > S2 > S1 > S3 > S5
Cr	S4 > S2 > S3 > S1 > S5
Pb	S1 > S2 > S5 > S3 > S4
Cd	S2 > S3 > S4 > S5 > S1

Tableau 2. Teneurs métalliques des différents éléments au niveau de chaque station.

Table 2. Metallic contents station of the various elements

Stations	Ordres d'éléments métalliques
S1	Fe > Zn > Cr > Cu > Cd > Pb
S2	Zn > Fe > Cr > Cu > Cd > Pb
S3	Fe > Zn > Cr > Cu > Cd > Pb
S4	Fe > Zn > Cr > Cu > Cd > Pb
S5	Fe > Zn > Cr > Cu > Cd > Pb

DISCUSSION

L'analyse des métaux lourds chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) a montré une large variation entre les stations de l'estuaire de Loukkos. Cela peut être expliqué par l'âge, le sexe et la réponse métabolique de l'anguille à la détoxification (Ribeiro *et al.* 2005), compte tenu de sa sensibilité à divers stress environnementaux (Bruslé 1990) et de son caractère benthique.

Une espèce n'est considérée comme bio-indicatrice que lorsqu'elle obéit à certains critères ; elle doit être : relativement sédentaire dans la zone étudiée, abondante, à long cycle de vie, tolérante au stress et donnant la possibilité à un échantillonnage durant toute l'année (Batty *et al.* 1996 ; El Morhit *et al.* 2009). De plus, à cause de ses teneurs élevées en graisses, le stade de la reprise de la nourriture est sujet à la bioaccumulation des polluants (Maes 2005). Ce dernier affirme que les polluants environnementaux ne reflètent pas toujours le niveau actuel de la contamination des individus.

Par ailleurs, Sure & Siddall (1999) suggèrent que les métaux ionisés sont principalement bio-accumulés par les branchies des poissons et véhiculés à travers le système circulatoire aux différents organes (El Morhit *et al.* 2012c). Les branchies sont les principaux organes d'absorption des polluants toxiques pour les espèces aquatiques (Ahmad *et al.* 2006 ; El Morhit *et al.* 2012b). Elles ont été choisies dans un certain nombre de travaux comme outil de surveillance de toute intoxication chez les poissons (Fekhaoui *et al.* 1986), en étant le premier organe en contact avec l'eau. Lors d'une contamination, les processus respiratoires des poissons risquent d'être perturbés.

Les valeurs limites de la Communauté européenne ont proposé les concentrations de métaux dans le muscle de poisson uniquement pour les métaux non essentiels (par exemple le Pb et le Cd). Les valeurs limites sont de 0,05 mg/kg de poids humide pour le Cd et 0,2 mg/kg de poids humide pour le Pb (EC directive 02/221/CEE). Pour faciliter la comparaison, ces valeurs ont été converties en mg/kg du poids sec en les multipliant par cinq (EC. 2006 ; El Morhit *et al.* 2009).

Dans la présente étude, le Fe est l'élément le plus abondant, il atteint une teneur moyenne de l'ordre de 83,27 µg/g du poids sec des civelles de l'estuaire dans la S3. L'accumulation des métaux lourds chez les civelles de l'estuaire est fortement liée à son caractère benthique, sachant que le comportement d'enfouissement des anguilles augmente avec l'âge (Lecomte-Finiger 1983).

L'enfouissement dans le sédiment serait plus important pendant la migration anadrome induisant des plus grands risques de contamination, ceci a été démontré par plusieurs auteurs dans la même zone (El Morhit *et al.* 2009).

Chez les classes de taille moyenne, les anguilles accumulent plus de métaux par rapport aux autres stades ; Elles ont tendance à se nourrir plus, pour atteindre les tailles et l'âge convenable et les réserves nécessaires pour effectuer leur migration vers la mer des sargasses. Les civelles et les anguilletes seraient plus sensibles aux polluants que les autres stades.

De même, pour le Zn. Noel-Lambot *et al.* (1978) ont trouvé des teneurs endogènes qui fluctuent au sein de la même espèce en fonction de l'âge et de la nourriture. La teneur moyenne du Zn qui est de l'ordre de 48,75 µg/g du poids sec n'indique pas vraiment une contamination si on compare les résultats trouvés dans notre étude avec ceux trouvés par l'OMS (70 µg/g du poids frais) (Tab. 3).

Tableau 3 Normes des teneurs de certains métaux toxiques exprimées en µg/g du poids frais chez AA.

Table 3. Standards contents of toxic metals (µg / g of the fresh weight) in AA.

Normes	Fe	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd
Espagne (BOE, 1991)	-	-	20	-	1	-
Canada	-	100	100	-	-	-
Australie	-	150	60	-	-	-
OMS/FAO/EPA	-	70	-	-	-	-
CEE/R n° 466/2001	-	-	-	5,5	0,2	0,05
Présente étude (poids sec)	83,27	48,75	1,60	2,62	0,04	0,40

Les études de Hansen *et al.* (2002) et Zimmermann *et al.* (2004) ont pu démontrer que plus la dureté de l'eau augmente, plus la toxicité du Zn chez le poisson diminue. D'une autre manière, lorsque la concentration des ions Ca²⁺ dans les eaux augmente, l'accumulation du Zn diminue.

Perez *et al.* (2001) ont détecté une très forte teneur du Zn dans le muscle d'*Anguilla anguilla* (115,5 µg/g du poids sec) au Portugal, dans la région Ria de Aveiro, comparée à d'autres espèces (*Trigla lucerna*) (16,05 µg/g du poids sec), soit 2 fois moins que la teneur moyenne maximale en Zn trouvé chez les civelles marocaines de l'estuaire du bas Loukkos (48,75 µg/g du poids sec).

Le Cu est un élément essentiel présent dans de nombreuses protéines et métallo-enzymes qui sont impliquées dans les réactions d'oxydoréduction avec l'oxygène, dans la production d'énergie et d'autres processus physiologiques. Comme tous les métaux, il a une grande affinité pour les radicaux thiols. Chez l'anguille, les teneurs endogènes de ce métal très élevées atteignent 17 µg/g du poids frais soit 85 µg/g du poids sec selon Noel-Lambot *et al.* (1978). Comparés à ces teneurs, nos résultats dont les valeurs moyennes sont de l'ordre de 1,60 µg/g du poids sec sont beaucoup plus faibles. Les branchies accumulent moins le Cu que les autres éléments métalliques et les quantités de cet élément, dans les branchies sont faibles par rapport à celles trouvées dans les autres organes

(El Morhit 2005 ; 2009). Ajoutons que lorsque le milieu est contaminé par le Cu, l'épithélium branchial tend à l'accumuler d'une façon importante. L'accumulation initiale peut être due, soit à une chélation par le mucus, possédant une grande affinité pour les ions métalliques et très riche en protéines et par la suite sa précipitation au niveau des branchies, soit à une fixation au niveau du tissu branchiale (El Morhit 2009). Une quantité intense peut induire un effet létal, due à des contraintes respiratoires (VanHoof & Van San1981).

Au niveau de l'estuaire du bas Loukkos, l'origine du Cu pourrait être attribuée aux activités agricoles, puisqu'il y a peu d'activités industrielles dans la région. En effet, cette zone est connue par ses différents types d'agriculture artisanale et moderne. L'utilisation des pesticides et des fertilisants ne pourrait qu'augmenter le risque de la pollution par les métaux lourds, 8000 à 9000 tonnes de ces produits sont utilisés annuellement par le Maroc (Cheggour *et al.* 2001). En plus, de nombreux auteurs ont confirmé que les pesticides altéreraient la santé de civelle (Prouzet *et al.* 2007 ; El Morhit 2009).

La teneur moyenne en Cu est de 1,60 µg/g du poids sec chez les civelles de l'estuaire du bas Loukkos, celle-ci n'est pas toxique si on la compare avec celle de Ribeiro *et al.* (2005) qui ont trouvé des valeurs plus élevées de l'ordre de 72,3 µg/g du poids sec. Il est difficile d'affirmer que la différence de concentration en Cu entre les anguilles de l'estuaire du Loukkos, est due essentiellement à leurs teneurs externes existantes dans l'environnement aquatique mais elle est principalement liée à la présence des métallothioneines, protéines solubles de faible poids moléculaire trouvées dans le cytosol. Par ailleurs, il est bien connu que les niveaux de concentrations métalliques dans les organismes ne sont pas le seul résultat de leur biodisponibilité dans l'environnement. La biodisponibilité du Zn et Cu dépend de la concentration maximale de chaque métal dans l'eau (Papagiannis & Kagalou 2004).

Si on considère les stations situées près de l'embouchure, on remarque une réduction de la teneur métallique, la compétition ionique devient plus intense, et donc la biodisponibilité augmente par la suite. Ceci pourrait expliquer, au moins en partie, la présence de teneurs importantes de ces métaux (Fe, Zn et Cu) au niveau des civelles de l'estuaire de Loukkos.

Pour le Cr, sa teneur varie généralement en fonction de sa concentration dans le milieu et de sa biodisponibilité. A pH acide, le Cr s'avère très toxique, son origine dans ces stations est attribuée essentiellement aux industries textiles et traitement de surface (chromage), activité connue surtout sur les rives du Loukkos. Le présent travail a pu déceler une contamination par le Cr dont les teneurs atteignent 2,62 µg/g du poids sec, comparées avec celles trouvées par Ribeiro *et al.* (2005) et qui correspond à 1,46 µg/g du poids sec dans une station au niveau de la Camargue (France). Alors que dans d'autres stations, plus polluées en Cr, ces auteurs ont décelé des valeurs plus élevées atteignant 1,59 µg/g du poids sec et même presque le double de cette concentration (2,48 µg/g du poids sec). Il ressort de ces résultats, que les civelles prélevées dans l'estuaire du bas Loukkos sont significativement les plus imprégnées par le Cr, ce qui suggère une contamination ancienne et

chronique. Il est vraisemblable que l'évolution des charges tissulaires en Cr soit liée aux activités industrielles.

Quant au Cr, au niveau de l'estuaire du Loukkos, la salinité augmente au début du mois d'avril, ceci pourrait expliquer la concentration élevée du Cr notée chez les civelles de ce site. Sa forme ionique Cr^{6+} est la forme la plus disponible, grâce à sa charge monovalente et sa grande liposolubilité, le Cr sous forme HCrO_4^- peut traverser facilement l'épithélium branchial (Fekhaoui 1983 ; El Morhit 2009).

Pour le Pb, sa présence au niveau des civelles de l'estuaire du Loukkos pourrait avoir la même explication que celle du Cr, mais il faut noter aussi que sa présence est principalement due à son utilisation dans la combustion des carburants (Zimmermann *et al.* 2004). Dans le présent travail, la teneur moyenne enregistrée en Pb est de 0,04 µg/g du poids sec, celle-ci n'indique pas vraiment une contamination si on la compare avec celle trouvée par CEE (2001) dont la valeur est de 0,2 µg/g (Tab. 3). Diverses causes peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène, notamment, la biodisponibilité des métaux en parallèle avec le rôle que peuvent jouer les interactions physico-chimiques du milieu (Zimmermann *et al.* 2004 ; El Morhit *et al.* 2012b). De plus, la biodisponibilité associée aux processus physiologiques propres à l'espèce et la disponibilité de la nourriture ou les variations du métabolisme au cours du cycle de croissance de l'anguille sont parmi les principales causes de ce phénomène.

Pour le Cd, il est souvent accompagné du phosphore qui représente 70 à 100% du métal initialement présent dans le minerai (Robert et Juste 1997). Dans notre étude il représente une teneur moyenne 0,40 µg/g du poids sec des civelles. Cette forte concentration peut induire de sérieux dysfonctionnement chez ces poissons (civelles). Selon plusieurs auteurs, le Cd entraîne une baisse des défenses contre le stress oxydant, alors que celui-ci est connu pour provoquer une surproduction d'espèces réactives de l'oxygène (Pierron *et al.* 2007).

Le Cd est donc accumulé, chez les civelles dans l'estuaire de Loukkos, à la fois par voie directe et trophique. Cependant, au niveau des branchies, la bioaccumulation se fait par voie directe. Au niveau du foie et des reins, qui sont les principaux organes de stockage du Cd, cette bioaccumulation se fait majoritairement par voie trophique (Pierron *et al.* 2007).

Pour évaluer un éventuel impact négatif de la consommation des civelles sur la santé humaine, il faut prendre en considération les éléments à craindre tels que le Cr, Pb et Cd qui sont présents à des teneurs non toxiques à l'exception du Cd qui peut être toxique. Plusieurs normes sont proposées dans ce volet et qui sont résumées dans le tableau 3. En fait, les normes changent d'un pays à un autre et celles prises en compte sont surtout les normes des pays les plus proches. En comparant nos résultats avec ces normes, nous pourrions déduire que les valeurs enregistrées dans l'estuaire de Loukkos restent au-dessous des valeurs critiques de contamination.

La comparaison des teneurs enregistrées chez cette espèce de poisson étudié montre que les teneurs en oligo-éléments (Fe, Cu et Zn) sont plus élevées par rapport à

celles des éléments toxiques (Cr, Pb et Cd). Ceci est typiquement lié à leur toxicité. En effet, les éléments essentiels sont des éléments endogènes et exogènes alors que les éléments toxiques ne sont que des éléments exogènes. C'est pour cela que les concentrations des éléments essentiels sont plus élevées par rapport à celles des éléments toxiques (El Morhit *et al.* 2012a).

Les concentrations en Zn (48,75 µg/g du poids sec) et en Cu (1,60 µg/g du poids sec) obtenues dans notre étude sont plus faibles par rapport à celles relevées par Ribeiro *et al.* (2005) et Storelli *et al.* (2007) dans l'estuaire de la Gironde et l'estuaire du Rhône et de la baie de Lesina, en Italie respectivement. De même, pour les éléments toxiques, le Pb et le Cd des anguilles du bas Loukkos (0,04 et 0,40 µg/g du poids sec respectivement) étaient inférieurs à la norme de consommation de chair de poisson (300 ppb et 0,1 ppm du poids frais), et à ceux mesurés chez les anguilles de l'estuaire du Rhône, de la baie de Cadix, de l'estuaire de l'Odiel en Espagne, de la baie de Lesina en Italie et de Flandre en Belgique (Ribeiro *et al.* 2005 ; Usero *et al.* 2003 ; Storelli *et al.* 2007 ; Maes *et al.* 2008). Concernant la toxicité de ces éléments, toutes les teneurs obtenues ne dépassent pas les normes de la CEE à l'exception de celles du Cd. Donc, il est probable qu'il s'agisse d'une contamination à caractère chronique.

Les civelles d'*Anguilla anguilla* sont des espèces aquatiques, particulièrement intéressantes par leur rôle d'indicateur car elles supportent mal la pollution des eaux. Plusieurs auteurs estiment que les civelles seraient d'assez bon bio-indicateurs lors de leur utilisation comme un matériel biologique pour les travaux écotoxicologiques de longue durée (Pacheco & Santos 2002 ; El Morhit *et al.* 2009).

CONCLUSION

L'étude de la contamination des civelles de l'estuaire de Loukkos par les divers métaux (Fe, Zn, Cu, Cr, Pb et Cd), porte sur l'analyse et le suivi spatio-temporel de ces 6 éléments dans ce poisson. Les résultats témoignent de la présence de ces micropolluants chez les poissons prélevés. Nous estimons que l'espèce de poissons *Anguilla anguilla* pourrait être considérée comme un bon bio-indicateur de la qualité de l'environnement des écosystèmes aquatiques.

La connaissance actuelle de la contamination des écosystèmes aquatiques par les métaux lourds révèle une complexité écotoxicologique extrême, due aux multitudes interrelations existantes entre les facteurs abiotiques du milieu, les facteurs biotiques et les nombreuses formes de dérivés de métaux présents dans les différents compartiments des écosystèmes. Dans les tissus de ce poisson, les teneurs en Fe, Zn et Cu ne présentent pas en général des différences significatives. Par contre, les teneurs enregistrées pour le Cr, Pb et Cd présentent une certaine variabilité chez cette espèce et surtout le Cd qui présente des teneurs élevées dans la station 2 dans laquelle débouche le collecteur principal des déchets des rizières.

Cette contamination des poissons constitue un facteur de risque non seulement pour la vie de ces espèces aquatiques, mais aussi pour l'Homme qui est le prédateur supérieur au bout de la chaîne alimentaire. Il se pose alors un véritable

problème de santé publique en ce qui concerne une fréquente consommation de ces produits halieutiques.

REFERENCES

- Ahmad I., Pacheco M. & Santos A. 2006. *Anguilla anguilla* L. oxidative stress biomarker: an in situ study of freshwater wetland ecosystem (Pateria de Fermentelos, Portugal). *Chemosphere*, 65, 6, 952–62.
- Amilhat E. 2007. *Etat sanitaire de l'anguille européenne Anguilla anguilla dans le bassin Rhône Méditerranée et Corse* : Synthèse bibliographique. Rapport Pôle lagunes et Cépralmar. CBETM, Université de Perpignan. 88p.
- Auger D. 1989. *Méthode du dosage du cadmium, du cuivre, du plomb et du zinc dans les milieux biologiques*. Rapp. Direction environnement recherches océaniques (DERO) 07-MB.
- Azeroual A. & Yahyaoui A. 2006. *L'Anguille européenne, Anguilla anguilla L. 1758, au Maroc*. Symposium Biologie, Ecologie et Gestion des Anguilles. Université Perpignan, 24-27 avril 2006.
- Batty K.T., Davis T.M., Thu L.T., Binh T.Q., Anh T.K. & Ilett K.F. 1996. Selective high performance liquid chromatographic determination of artesunate and α and β dihydroartemisinin in patients with falciparum malaria. *J. Chromatogr., B.*, 677, 345–350.
- BOE, 1991. (Boletín Oficial del Estado or Official Gazette). Normas microbiológicas, límites de contenido en metales pesados y métodos analíticos para la determinación de metales pesados 193 para los productos de la pesca y de la agricultura (Microbiological standards, limits on heavy metal content, and analytical methods for determining the heavy metal content of fishery and agricultural products). In: BOE, ed. August 2 Order. Madrid, Spain, 5937–41.
- Bouachrine M., Fekhaoui M., Bennasser L. & Idrissi L. 1998. Distribution of selected metals in tissue samples of fish from industrially contaminated stream (the river Sebou, Morocco). *Acta Hydrobiol.*, 40, 173–179.
- Bruslé J. 1990. Effects of heavy metals on eels, *Anguilla sp.* *Aquat. Living Resour.*, 3, 131–141.
- Cheggour M., Chafik A., Langston W., Burt G., Benbrahim S. & Texier H. 2001. Metals in sediments and the edible cokerastodermae from two Moroccan Atlantic Lagoons Moulay Bouselham and Sidi Moussa. *Envir. Poll.*, 115, 149–160.
- European Commission (EC) 2006. *Commission Regulation N° 1881/2006, December 19th, setting maximum levels of certain contaminants in foodstuffs*. Official Journal of the European Union N° L364/20, December 2006, pp 5-24.
- El Morhit M., Fekhaoui M., El Abidi A. & Yahyaoui A. 2012a. Contamination métallique des muscles de cinq espèces de poissons de l'estuaire du bas Loukkos et qualité de l'alimentation animale au Maroc (côte atlantique marocaine). *Science Lib.*, 4, 1–21.
- El Morhit M., Fekhaoui M., El Abidi A., Yahyaoui A. & Hamdani A. 2012b. Impact des activités humaines sur la dégradation de la qualité des sédiments de l'estuaire de Loukkos (Maroc). *D.S.T.*, 61, 8–17.
- EL Morhit M., Fekhaoui M., Hachimi M., EL Abidi A. & Yahyaoui A. 2012c. Contamination métallique de *Sardina pilchardus* de la côte atlantique Marocaine et des sédiments de l'estuaire du bas Loukkos. *Espace vétérinaire*, N°104. Amakdouf M, Maroc, 11 pages.
- El Morhit M. 2009. *Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences Ecotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Loukkos)*. Thèse Doctorat.

- Université Mohammed V - Agdal, Faculté des Sciences, Rabat. IMIST. *Series/Report* N° Th-571.95/MOR. 260 p.
- El Morhit M., Fekhaoui M., Elie P., Girard P., Yahyaoui A., El Abidi A. & Jbilou M. 2009. Heavy metals in sediment, water and the European glass eel, *Anguilla anguilla* (Osteichthyes : Anguillidae) from Loukkos river estuary (Morocco, eastern Atlantic). *Cybius*, 33, 3, 219–228.
- EL Morhit M., Fekhaoui M., Serghini A., El Bliidi S., El Abidi A., Bennaakam R., Yahyaoui A. & Jbilou M. 2008. Impact de l'aménagement hydraulique sur la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire du Loukkos (côte atlantique, Maroc). *Bull. Inst. Sci., Rabat*, 30, 39–47.
- El Morhit M. 2005. *Évaluation de la pollution métallique de la côte atlantique marocaine (port laÿoune, foun l'oued et laÿsilia)*. Thèse de 3^{ème} de cycle. Univ. Ibn Tofail. FSK. 105p.
- Fekhaoui M. 1983. *Toxico-cinétique de trois polluants métalliques majeurs chez la truite arc-en-ciel (Salmogaidneri), le chrome le cuivre et le zinc*. Thèse de 3^{ème} cycle, université de Claude Bernard- Lyon, 125p.
- Fekhaoui M., Devux A. & Keck G. 1986. Toxicité aigue et distribution tissulaire du cuivre lors d'intoxication supraïgüe chez la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri*). *Bull. Inst. Sci., Rabat*, 10, 155–163.
- Hansen J. A., Welsh P.G., Lepton J., Cacula D. & Dailey A.D. 2002. Relative sensitivity of Bull trout (*Salvelinus confluentus*) and Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to acute exposure of cadmium and zinc. *Environ. Toxicol. Chem.*, 21, 67–57.
- I.A.E.A. 1991. Marine environment laboratory. MESL Report. IAEA /080/IAEA / MEL/56, Worldwide Regional intercomparison for determination of trace elements in polluted marine sediment. IAEA-356, Monaco. 113 pages et annexes.
- Laffaille P., Caraguel J.M. & Legault A. 2006. Migration de civelles d'anguille (*Anguilla anguilla* L.) au travers un barrage estuarien. *Biologie, économie et gestion des anguilles*. Université de Perpignan Via Domitia - Centre de gestion de Biologie et d'Ecologie Tropicale et Méditerranéenne. GRISAM. Perpignan. 10 p.
- Lecomte-Finiger R. 1983. *Contribution à la connaissance de l'écobiologie de l'anguille «anguilla anguilla L., 1758» des milieux lagunaires méditerranéens du Golfe du Lion : Narbonais et Roussillon*. Thèse Doctorat d'Etat Es-Sciences. Université de Perpignan, 203 p.
- Lemaire-Gony S., Lemaire P. & Pulsford A. 1995. Effets of cadmium and benzo (a) pyrene on the immune system, Gill ATPase and Erod activity of European sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Aquatic Toxicology*, 31, 4, 297–313.
- Maes G. 2005. *Evolutionary consequences of a catadrous life-strategy on the genetic structure of european eel (Anguilla anguilla L.)*. Thèse de 3^{ème} cycle. Université Katholic Leuven, Faculté Wetenschappen, 223 p.
- Maes J., Belpaire C., & G. Goemans 2008. Spatial variations and temporal trends between 1994 and 2005 in polychlorinated biphenyls, organochlorine pesticides and heavy metals in European eel (*Anguilla anguilla* L.) in Flanders, Belgium. *Environmental Pollution*, 153, 223–237.
- Melhaoui M., & J.P. Boudot. 2009. *Diagnostic de la biodiversité aquatique dans le Bassin Hydraulique de la Moulouya. Projet ABHM/UICN*. Rapport d'expertise. UICN Med. Décembre 2009, 113 p.
- Noel-Lambot F., Gerday Ch. & Desteche A. 1978. Distribution of Cr, Zn and Cu in liver and gills of the eel *Anguilla anguilla* with special reference to metallothioneins. *Comp. Bioch.*, 61 C, 1, 177–187.
- Pacheco M. & Santos M.A. 2002. Biotransformation genotoxic and histopathological effects of environmental contaminants in european eel (*Anguilla anguilla* L.). *Ecotox. and Environ. Safety*, 331–347.
- Papagiannis I. & Kagalou I. 2004. Copper and zinc in four freshwater species from lake Pamvotis (Greece). *Environ. Inter.*, 30, 357–362.
- Perez R., Ortega J. & Flores F. 2001. Surface Soft Phonon and the $\sqrt{3} \times \sqrt{3} \leftrightarrow 3 \times 3$ Phase Transition in Sn/Ge (111) and Sn/Si(111). *Phys. Rev. Lett.*, 86, 489–4894.
- Pierron, F., Baudrimont, M., Bossy, A., Bourdineaud, J.P., Brethes, D., Elie, P. & Massabuau J.C. (2007). Impairment of lipid storage by cadmium in the European eel (*Anguilla anguilla*). *Aquatic Toxicology*, 81, 3, 304–311.
- Prouzet P., Sébastien L., Bareille G., Tabouret H., Salvado J.C., Dias M., Boussouar A. & Duquesne E. 2007. 3^{ème} rapport d'avancement des travaux du GDR Adour. Conseil régional d'Aquitaine et Conseil Général des Pyrénées Atlantiques, 6-16.
- Règlement (CE) N° 466/2001 de la Commission du 8 mars 2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires JO 16.3.2001, L77, p. 1 ; rectification JO 21.11.2003, L304, p. 30 .
- Ribeiro O.C., A., Vollaire Y., Sanchez-Chardi A. & Roch H. 2005. Bioaccumulation and the effects of organochlorine pesticides, P.A.H and heavy metals in the Eel (*Anguilla anguilla*) at the Camargue Nature Reserve, France. *Aquatic Toxicology*, 74, 53–69.
- Robert M. & Juste C. 1997. Stocks et flux d'éléments traces dans les sols du territoire in aspects sanitaires et environnementaux de l'épandage agricole des boues d'épuration urbaines. *ADEME journées tectoniques des 5 et 6 juin 1997 ADEME éd*, 320 p.
- Storelli M.M., Barone G., Garofalo R. & Marcotrigiano G.O. 2007. Metals and organochlorine compounds in eel (*Anguilla anguilla*) from the Lesina lagoon, Adriatic Sea (Italy). *Food Chem.*, 100, 1337–1341.
- Sure B. & Sidall R. 1999. *Pomphorhynchus laevis* the intestinal acanthocephalan as a lead sink for its fish host, Chub (*Leuciscus cephalus*). *Exp. Parasitol.*, 93, 66–72.
- Tahiri L., Bennisser L., Idrissi L., Fekhaoui M., El Abidi A. & Mouradi A. 2005. Contamination métallique de *Mytilus galloprovincialis* et des sédiments au niveau de l'estuaire de Bouregreg (Maroc). *Water qual. Res. J.*, 40, 1, 111–119.
- Usero J., Izquierdo C., Morilo J. & Gracia I. 2003. Heavy metals in fish (*Silea vulgaris*, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from salt marshes on the southern atlantic coast of Spain. *Environ. Inter.*, 29, 949–956.
- Van Hoof F. & Van San E. 1981. Analysis of Cooper, Zinc, Cadmium, Zinc, Cadmium and Chromium in fish tissues. A test for detecting metal caused fish kills. *Chemosphere*, 10, 1127–1135.
- Zimmermann S., Baumann U., Taraschewski H. & Sures B. 2004. Accumulation and distribution of platinum and rhodium in the European eel *Anguilla anguilla* following aqueous exposure to metal salts. *Environmental Pollution*, 127, 195–202.

Manuscrit reçu le 08/04/2013

Version révisée acceptée le 31/05/2014

Version finale reçue le 22/09/2014

Mise en ligne le 20/10/2014