



Fédération Départementale pour la Pêche  
et la Protection du Milieu Aquatique  
« Le Villaret »  
2092, route des Diacquenods  
74370 SAINT-MARTIN BELLEVUE  
Tel 0450468755  
Fax 0450469051  
Federation.peche74@wanadoo.fr



AAPPMA du Faucigny  
18, quartier St Vincent  
74300 CLUSES  
Tel 0450962059  
Fax 0450962759  
aappma.faucigny@wanadoo.fr

## Etude complémentaire au diagnostic DCE sur le lac de référence d'Anterne

- Etude de la contamination toxique dans les poissons de deux lacs d'altitude,  
comparaison avec les grands lacs alpins -



Réf rapport : FDP74. 09/05

HUCHET Philippe

juillet 2009

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier de :



## REMERCIEMENTS

au personnel de l'ONEMA avec lequel nous avons collaboré lors des pêches au filet réalisées en septembre 2007 : Florence PERNETTE, Claude DEBRUILE et Jean-Marc RICHARDOT pour la SD 74, Jean-Claude RAYMOND pour la DR5 de Lyon,

au personnel technique de la Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique : Guillaume Bini, Ludovic Catinaud, Arnaud Caudron et Laure Vigier.

à Monsieur Franck HORON, d'ASTERS, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail réalisé sur le territoire des réserves naturelles de Sixt-Passy et Passy.

à l'AAPPMA du Faucigny pour avoir permis la réalisation de ces pêches sur son territoire, ainsi que pour avoir réalisé le marquage des poissons alevinés en 2006.

<b>Partenaires</b>	<b>Taux de participation (calculé sur le montant total)</b>	<b>Montant total</b>
<b>Autofinancement FDP74</b>	<b>28%</b>	<b>6362.56 €</b>
<b>Fond FNPF</b>	<b>28%</b>	<b>6362.56 €</b>
<b>Agence de l'eau RMC</b>	<b>44%</b>	<b>10135.40 €</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>22860.52 €</b>

**Référence à citer** : Huchet P., 2009. Etude complémentaire au diagnostic DCE sur le lac de référence d'Anterne - Etude de la contamination toxique dans les poissons de deux lacs d'altitude, comparaison avec les grands lacs alpins. *Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique*, 15p + annexes.

## **SOMMAIRE**

<b>LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
<b>I- Matériel et méthode :</b>	<b>3</b>
<b>II- Contamination par les métaux :</b>	<b>3</b>
<b>III- Contamination par les PCB :</b>	<b>13</b>
<b>IV- Bilan sur les contaminations toxiques :</b>	<b>14</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>15</b>

## Liste des Tableaux et Figures

### **TABLEAUX**

*Tableau 1 : récapitulatif des recherches de toxiques réalisées*

*Tableau 2 : Présentation de l'ensemble des résultats bruts des analyses de sept métaux lourds sur les poissons échantillonnés des lacs d'Anterne, de Pormenaz et du stock de La Puya. Concentrations en µg/Kg de poids frais (< = concentration inférieure au seuil de détection).*

*Tableau 3 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Cd dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).*

*Tableau 4 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Cr dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).*

*Tableau 5 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Cu dans la chair (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).*

*Tableau 6 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Cu dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).*

*Tableau 7 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Ni dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).*

*Tableau 8 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Pb dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).*

*Tableau 9 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Zn dans la chair (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).*

*Tableau 10 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Zn dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).*

*Tableau 11: Quantité de poissons à ingérer pour atteindre les doses journalières admissibles selon les valeurs fournies par l'INERIS (2005) et l'OMS (2002) sur l'ensemble des secteurs analysés en Haute-Savoie.*

*Tableau 12 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en PCB (TEQ) dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).*

### **FIGURES**

*Figure 1 : Valeurs moyennes par secteur échantillonné des concentrations en métaux dans la chair et les viscères des poissons analysés.*

*Figure 2: Concentration en PCB (TEQ pg/gPF) dans la chair et les viscères des poissons des lacs d'Anterne et de Pormenaz*

## INTRODUCTION

Dans le contexte de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau), le lac d'Anerne, plan d'eau d'altitude du Faucigny (Haute-Savoie), été retenu comme plan d'eau naturel de référence du bassin Rhône-Méditerranée-Corse par le CEMAGREF. Aussi l'ONEMA a-t-il été chargé en septembre 2007 de réaliser un échantillonnage standard au filet du peuplement piscicole du lac. La Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique et l'AAPPMA du Faucigny ont décidé de mettre à profit cet échantillonnage pour effectuer une recherche de composés toxiques dans les poissons de ce lac, ainsi que dans ceux du lac de Pormenaz, plan d'eau situé en contrebas du lac d'Anerne.

Cette recherche portera sur les métaux d'une part et sur les PCB d'autre part. Les résultats des recherches de métaux dans la chair et les viscères des poissons seront discutés et comparés à ceux obtenus sur d'autres cours d'eau du département, tandis que les résultats des recherches de PCB seront comparés à ceux obtenus sur les population d'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) des trois grands lacs alpins (Léman, Annecy, le Bourget).

L'intérêt de cette étude est de disposer d'analyses de toxiques dans des poissons de lacs d'altitude, sites dont le bassin versant est totalement dépourvu de source directe de pollution toxique, et qui pourront de fait constituer un étalon à l'interprétation des résultats de recherches de toxiques dans les plans d'eau et cours d'eau de plaine.

## I- Matériel et méthode :

Les salmonidés ont été envoyés en laboratoire pour y effectuer une recherche de toxiques sur chair et viscères. Les détails des échantillons et des analyses réalisés sont synthétisés dans le tableau 1.

Espèce		Anterne		Pormenaz		La Puya	
		Métaux (CARSO)	PCB (LABERCA)	Métaux (CARSO)	PCB (LABERCA)	Métaux (CARSO)	
OBL	(nb. ind.)	3	4			1	
ALY	(nb. ind.)	1		6		3	10
IND.	(nb. ind.)	2					

Tableau 1 : récapitulatif des recherches de toxiques réalisées

Quatre poissons du lac d'Anterne et Quatre poissons du lac de Pormenaz ont été envoyé au LABERCA (Laboratoire d'Etude des Résidus et des Contaminants dans les Aliments) de Nantes pour une recherche de PCB (PCB dioxin-like et PCB indicateurs). Les analyses ont été réalisées séparément sur la chair et sur les viscères.

En ce qui concerne les métaux, 6 poissons de chaque lac ont été envoyés au laboratoire CARSO (Lyon), ainsi qu'en tant que lot témoin 10 poissons de la pisciculture de La Puya (Annecy) dont sont originaires les ombles alysses alevinés. Les analyses ont également été réalisées séparément sur la chair et les viscères, et ont porté sur les métaux suivants : Cadmium, Chrome, Cuivre, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc. Cette recherche a été réalisée selon une méthode interne ICP/MS après minéralisation.

## II Contamination par les métaux :

### ➤ Résultats globaux

La totalité des résultats bruts est présentée dans le tableau 2.

	ref poisson	esp	longueur totale (mm)	age	Cd		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn	
					chair	viscères												
Lac Anterne	Lac 18	?	225	2+	<	700	<	<	<	5040	<	210	<	<	<	50	17600	178100
	Lac 17	OBL	225	3+	<	90	<	630	<	1680	<	<	<	560	<	<	10600	35400
	Lac 23	ALY	200	1+	<	70	<	<	<	1790	<	<	<	<	<	50	10900	68900
	Lac 10	OBL	210	3+	60	220	430	<	450	1240	<	<	390	<	<	70	29100	47000
	Lac 11	OBL	205	3+	<	<	<	<	450	610	<	<	<	<	<	<	<	11700
Lac 12	?	220	2+	<	120	<	200	<	800	<	<	<	<	<	60	8280	38600	
Lac Pormenaz	Lac 68	ALY	165	1+	<	140	<	<	<	890	<	<	<	<	<	50	10200	70700
	Lac 62	ALY	193	1+	<	90	1460	<	<	1570	<	<	1120	<	<	120	12500	132900
	Lac 58	ALY	131	1+	<	90	<	<	1980	1600	<	<	<	<	<	<	13600	42200
	Lac 63	ALY	202	1+	<	<	<	<	<	960	<	<	<	<	<	<	9240	43600
	Lac 69	ALY	162	1+	<	80	<	<	<	1150	<	<	<	<	<	80	10800	56000
Lac 67	ALY	168	1+	<	80	<	<	<	780	<	<	<	<	<	120	10600	73200	
La puya	LP 10	ALY	96	0+	<	<	<	610	570	3450	<	<	<	600	<	<	11600	58000
	LP 09	ALY	112	0+	<	<	<	<	520	2590	<	<	<	<	<	<	15400	37500
	LP 08	ALY	109	0+	<	<	<	<	510	5240	<	<	<	<	<	<	14500	37900
	LP 07	ALY	111	0+	<	<	<	<	<	2150	<	<	<	<	<	<	10600	35200
	LP 06	ALY	110	0+	<	<	<	<	620	2860	<	<	<	<	<	<	18900	90300
	LP 05	ALY	95	0+	<	<	<	<	710	2860	<	<	<	<	<	<	12800	61800
	LP 04	ALY	112	0+	<	<	<	<	670	4100	<	<	<	<	<	<	17900	54900
	LP 03	ALY	118	0+	<	<	<	<	<	2920	<	<	<	<	<	<	16700	74100
	LP 02	ALY	105	0+	<	<	<	<	<	1970	<	<	<	<	<	<	13000	35000
LP 01	ALY	101	0+	<	<	<	<	<	1770	<	<	<	<	<	<	17900	68400	

Tableau 2 : Présentation de l'ensemble des résultats bruts des analyses de sept métaux lourds sur les poissons échantillonnés des lacs d'Anterne, de Pormenaz et du stock de La Puya. Concentrations en µg/Kg de poids frais (< = concentration inférieure au seuil de détection).

Sur les sept éléments recherchés dans les poissons issus des lacs, tous ont été détectés sur au moins un individu des deux lots. Les éléments les plus fréquemment détectés sont le Zinc, le Cuivre et le Cadmium. Le Plomb n'a été détecté que dans les viscères de la majorité des individus analysés. Le Chrome, le Nickel et le Mercure n'ont été retrouvés que dans quelques individus.

A l'exception du Nickel et du Chrome, il apparaît que la contamination est plus courante et plus importante dans les viscères des poissons. Pour ces deux éléments (Ni et Cr), on note que les individus présentant des concentrations supérieures aux seuils de détection ne sont jamais contaminés à la fois dans la chair et dans les viscères.

Globalement, les teneurs en métaux des poissons issus du stock de la Puya apparaissent moindre que celles des poissons échantillonnés sur les deux lacs d'altitude. En effet, l'analyse du lot témoin de poissons issus de la pisciculture met en évidence une contamination quasi inexistante et inférieure à celle détectée sur les lacs pour le Cadmium, le Chrome, le Nickel, le Mercure et le Plomb. Les concentrations en Zinc et en Cuivre dans la chair et les viscères des poissons semblent quant à elles être équivalentes dans les trois lots analysés.

Enfin, à l'instar des observations réalisées sur des cours d'eau hauts savoyards (Caudron, 2006), on observe d'importantes variations inter individus au sein des échantillons.

### ➤ Résultats par élément

La figure 1 présente les moyennes des concentrations détectées sur ces mêmes secteurs. Seul le mercure n'apparaît pas dans cette figure, un seul poisson du lac d'Anterne présentant une concentration supérieure au seuil de détection. A titre de comparaison, les résultats obtenus sur des truites fario et arc-en-ciel de cours d'eau du bassin versant de l'Arve également investigués (Caudron, 2006 ; Vigier, 2009) et sur les ombles de la pisciculture de La Puya figurent également sur les graphiques. C'est sur l'ensemble des lots figurant sur ces graphiques qu'a porté l'analyse statistique.

#### ↳ *Cadmium*

Le Cadmium est principalement retrouvé dans les viscères des poissons, seul un individu du lac d'Anterne présentant des traces dans la chair (60 µg/Kg de poids frais). Pour ce qui est des valeurs des concentrations retrouvées dans les viscères, elles vont du seuil de détection (< 50µg/Kg pf) à 700 µg/kg pf pour Anterne et à 150 µg/kg pf pour Pormenaz. Les poissons de la pisciculture d'Annecy sont tous en dessous du seuil de détection.

#### - Comparaison avec les autres sites :

D'un point de vue statistique, le test de Kruskal-wallis met en évidence l'absence de différence significative au sein de l'ensemble des échantillons étudiés en ce qui concerne les concentrations dans la chair (p value= 0.542, alpha= 0.05), la plupart des individus analysés présentant des concentrations inférieures au seuil de détection.

En revanche, il semble qu'il existe une différence significative pour la teneur en Cadmium dans les viscères (p value< 0.0001, alpha= 0.05). La comparaison multiple par

paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral) distingue les lots d'Anterne, de Pormenaz, du Bon Nant et, dans une moindre mesure de l'Arve à Sallanches de ceux des autres secteurs (Cf Tableau 3), en faisant apparaître leurs concentrations en Cadmium dans les viscères comme étant significativement plus importantes.

Echantillon	Effectif	Groupes		
La puya Cd V	10	A		
F. Reignier amt Cd V	5	A		
F. Reignier aval Cd V	5	A		
Borne amt Cd V	5	A		
Menoge amt Cd V	5	A		
Arve aval Cd V	11	A		
Arve Sallanches Cd V	9	A	B	
Pormenaz Cd V	6		B	C
Bon nant Cd V	9			C
Anterne Cd V	6			C

*Tableau 3 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Cd dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).*

Il semble donc que sur ces secteurs, et notamment sur les deux lacs d'altitude, la concentration en Cadmium dans les viscères des poissons soit supérieure à un simple bruit de fond. Du fait de la position géographique des lacs, de l'absence de source de contamination directe sur leurs bassins versants, de l'absence de contamination dans les poissons de La Puya et des origines connues du Cadmium (industrie, lessivages des routes, jus de décharge), ce constat semble être imputable aux retombées atmosphériques.

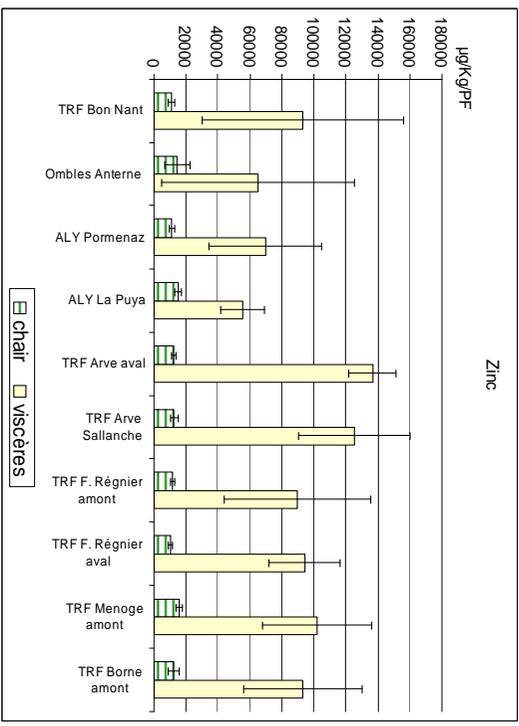
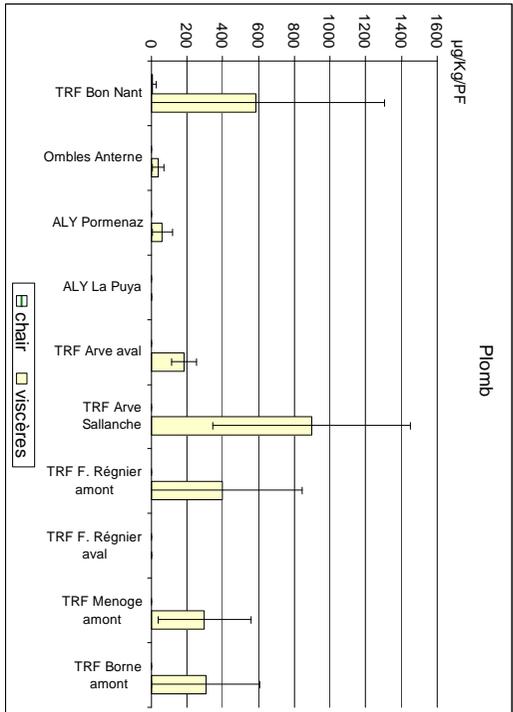
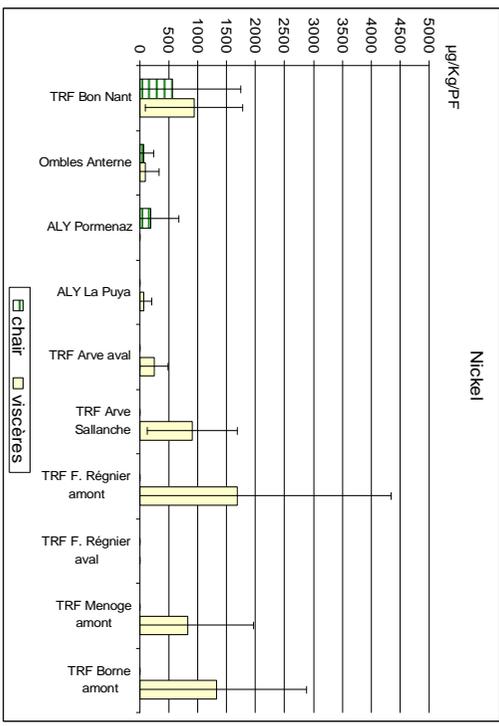
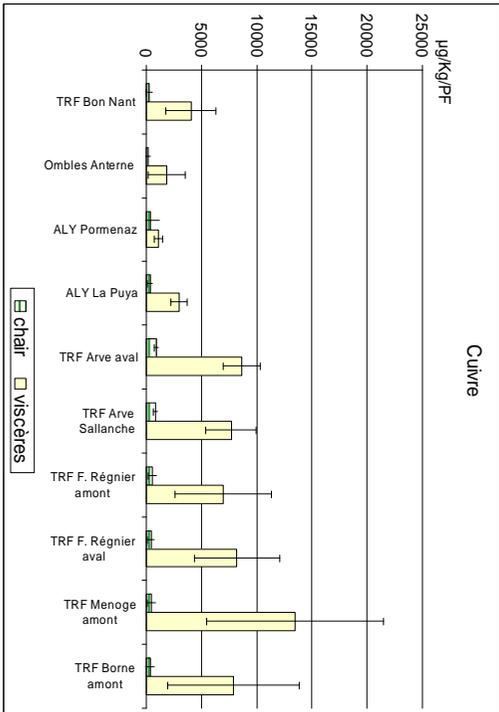
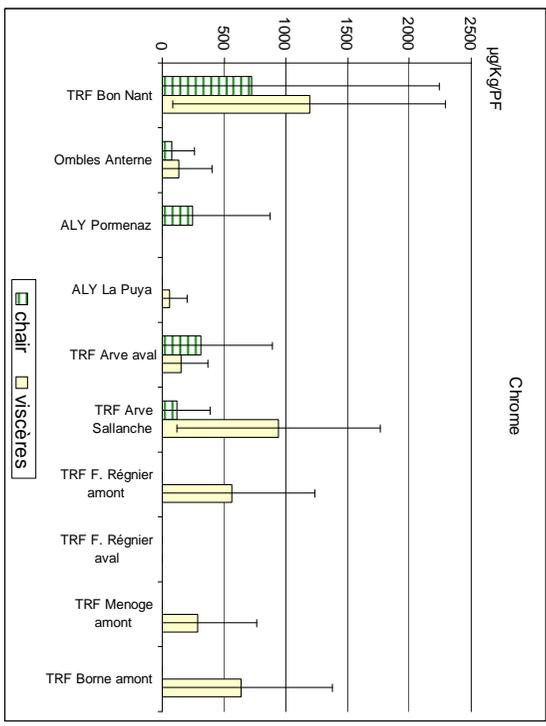
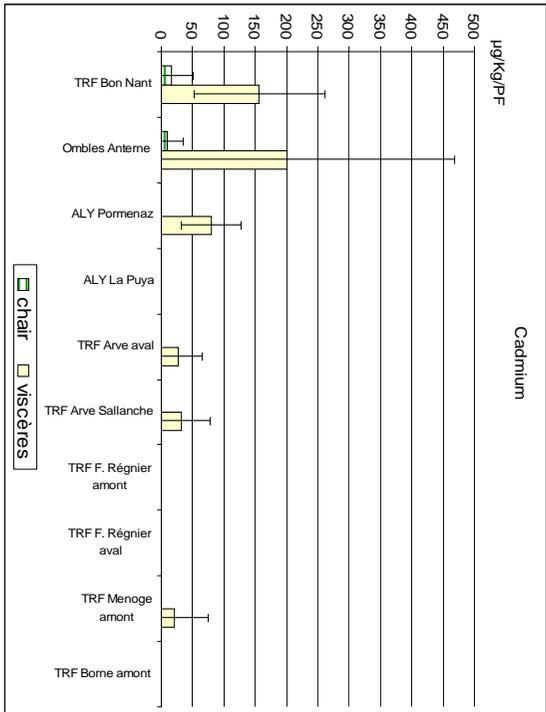


Figure 1 : Valeurs moyennes par secteur échantillonné des concentrations en métaux dans la chair et les viscères des poissons analysés.

## ↳ *Chrome*

Dans les trois lots analysés (Anterne, Pormenaz et LaPuya), on ne retrouve que très peu d'individus présentant des concentrations en Chrome supérieures au seuil de détection (< 200 µg/kg pf), que ce soit dans la chair ou dans les viscères (Cf tableau 2). On ne note également pas de différence notable de concentrations en Chrome entre la chair et les viscères.

### - Comparaison avec les autres sites :

Le test de Kruskal-wallis met en évidence l'absence de différence significative au sein de l'ensemble des échantillons étudiés en ce qui concerne les concentrations dans la chair (p value= 0.71, alpha= 0.05), la plupart des individus analysés présentant des concentrations inférieures au seuil de détection.

En revanche, il semble qu'il existe une différence significative entre les différents lots pour la teneur en Cadmium dans les viscères (p value=0.009, alpha= 0.05). La situation se révèle cependant peu contrastée du fait de faibles valeurs moyennes sur l'ensemble des sites.

Echantillon	Effectif	Groupes		
Pormenaz Cr V	6	A		
F. Reignier aval Cr V	5	A		
La puya Cr V	10	A		
Arve aval Cr V	11	A	B	
Anterne Cr V	6	A	B	C
Menoge amt Cr V	5	A	B	C
F. Reignier amt Cr V	5		B	C
Borne amt Cr V	5		B	C
Arve Sallanches Cr V	9			C
Bon nant Cr V	9			C

Tableau 4 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Cr dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).

On note toutefois que Pormenaz, La Puya, et Anterne dans une moindre mesure, se situent dans la gamme de valeurs basses du département. Ce constat peut s'expliquer par une origine naturelle possible du Chrome sur ces sites, couplée à un éventuel « bruit de fond » d'origine anthropique du aux retombées atmosphériques.

## ↳ *Cuivre*

Pour les trois lots analysés, les concentrations en Cuivre se révèlent plus élevées dans les viscères que dans la chair, que ce soit en terme d'occurrence ou de valeurs de concentrations. En effet, tous les individus analysés présentent des concentrations supérieures au seuil de détection dans les viscères, tandis que seule une partie d'entre eux sont dans ce cas en ce qui concerne la chair. De plus, les valeurs moyennes des concentrations sont respectivement de 1860, 1158 et 2991 µg/kg pf pour Anterne, Pormenaz et La Puya, tandis qu'elles sont de 150, 330 et 350 µg/kg pf dans la chair. Ce constat est probablement lié au fait que le cuivre est principalement accumulé dans les viscères, et que seule une fraction passe dans le sang et dans la chair des poissons.

- Comparaison avec les autres sites :

Il existe une différence significative entre les différents lots aussi bien pour la teneur en Cadmium dans les viscères (Kruskal-walllis, p value < 0.0001, alpha = 0.05) que dans la chair (Kruskal-walllis, p value < 0.0001, alpha = 0.05). La situation se révèle cependant moins contrastée pour le compartiment chair, probablement du fait des mécanismes de bioaccumulation et de transfert du Cuivre évoqués plus haut.

Echantillon	Effectif	Groupes		
Anterne Cu C	6	A		
Pormenaz Cu C	6	A	B	
Bon nant Cu C	9	A	B	
La puya Cu C	10	A	B	
Borne amt Cu C	5	A	B	
F. Reignier aval Cu C	5	A	B	
Menoge amt Cu C	5	A	B	
F. Reignier amt Cu C	5		B	C
Arve aval Cu C	11			C
Arve Sallanches Cu C	9			C

Tableau 5 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Cu dans la chair (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).

Echantillon	Effectif	Groupes		
Pormenaz Cu V	6	A		
Anterne Cu V	6	A		
La puya Cu V	10	A		
Bon nant Cu V	9	A	B	
F. Reignier amt Cu V	5		B	C
Borne amt Cu V	5		B	C
Arve Sallanches Cu V	9			C
F. Reignier aval Cu V	5			C
Arve aval Cu V	11			C
Menoge amt Cu V	5			C

Tableau 6 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Cu dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).

Toujours est-il que Pormenaz, La Puya, et Anterne se situent dans la gamme de valeurs basses du département, que ce soit dans la chair ou dans les viscères. Ce constat peut s'expliquer par une origine naturelle possible du Cuivre, couplée à un éventuel « bruit de fond » d'origine anthropique, du aux retombées atmosphériques en ce qui concerne les lacs de montagne.

### ☞ **Mercur**e

De tous les poissons analysés au cours de cette étude, mais également lors d'études précédentes (Caudron, 2006 ; Vigier, 2009), seul un individu issu du lac d'Anterne présente une concentration en mercure dans les viscères supérieure au seuil de détection (<100 µg/kg pf). Ce seul individu ne permet pas de statuer sur une éventuelle contamination, le mercure détecté pouvant être d'origine naturelle, notamment du fait de la faible concentration détectée et du fait qu'un seul poisson soit concerné.

## ↳ *Nickel*

Pour les trois lots analysés, les concentrations en Nickel se limitent à de simples traces : seuls deux individus présentent des concentrations supérieures au seuil de détection (< 200 µg/kg pf) sur chacun des deux lacs (1 dans la chair et 1 dans les viscères), tandis qu'aucun poisson ne dépasse le seuil de détection sur le lot issu de la pisciculture de la Puya.

### - Comparaison avec les autres sites :

Le test de Kruskal-wallis met en évidence l'absence de différence significative au sein de l'ensemble des échantillons étudiés en ce qui concerne les concentrations dans la chair (p value= 0.327, alpha= 0.05), la plupart des individus analysés présentant des concentrations inférieures au seuil de détection.

En revanche, il semble qu'il existe une différence significative entre les différents lots pour la teneur en Nickel dans les viscères (p value=0.003, alpha= 0.05). Les trois échantillons analysés dans le cadre de cette étude se positionnent parmi les plus faibles valeurs moyennes, ce qui correspond probablement à un bruit de fond lié aux retombées atmosphériques (combustion charbon, fuel, incinérateurs).

Echantillon	Effectif	Groupes			
Pormenaz Ni V	6	A			
F. Reignier aval Ni V	5	A			
La puya Ni V	10	A			
Anterne Ni V	6	A	B		
Arve aval Ni V	11	A	B	C	
Menoge amt Ni V	5		B	C	D
Bon nant Ni V	9		B	C	D
Arve Sallanches Ni V	9			C	D
Borne amt Ni V	5			C	D
F. Reignier amt Ni V	5				D

Tableau 7 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Ni dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).

## ↳ *Plomb*

Pour les trois lots analysés au cours de cette étude, les concentrations en Plomb sont systématiquement inférieures au seuil de détection dans le compartiment chair, ainsi que dans les viscères des poissons de La Puya. Dans les viscères des poissons d'Anterne et de Pormenaz, les concentrations fluctuent entre le seuil de détection (<50 µg/kg pf) et respectivement 70 et 120 µg/kg pf. Ces valeurs correspondent à de simples traces et ne traduisent pas de pollution particulière.

### - Comparaison avec les autres sites :

Le test de Kruskal-wallis met en évidence l'absence de différence significative au sein de l'ensemble des échantillons étudiés en ce qui concerne les concentrations dans la chair (p value= 0.649, alpha= 0.05), la quasi totalité des individus analysés présentant des concentrations inférieures au seuil de détection.

En revanche, il semble qu'il existe une différence significative entre les différents lots pour la teneur en Plomb dans les viscères (p value<0.0001, alpha= 0.05). Les trois échantillons analysés dans le cadre de cette étude se positionnent encore une fois parmi les

plus faibles valeurs moyennes, ce qui correspond probablement à un bruit de fond lié aux retombées atmosphériques (Arnaud, 2003). En outre, la présence de plomb dans les sédiments du lac d'Anterne liée à l'exploitation de filons argentifères à l'époque romaine avait été mise en évidence par ce même auteur (Arnaud, 2003), et peut également expliquer en partie les traces retrouvées dans les viscères des poissons de ce lac.

Echantillon	Effectif	Groupes			
La puya Pb V	10	A			
F. Reignier aval Pb V	5	A			
Anterne Pb V	6	A	B		
Pormenaz Pb V	6	A	B		
Arve aval Pb V	11		B	C	
Borne amt Pb V	5		B	C	D
Bon nant Pb V	9			C	D
Menoge amt Pb V	5			C	D
F. Reignier amt Pb V	5			C	D
Arve Sallanches Pb V	9				D

Tableau 8 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Pb dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).

### ☞ **Zinc**

Pour les trois lots analysés au cours de cette étude, les concentrations en Zinc sont systématiquement supérieures au seuil de détection, et ce aussi bien dans la chair que dans les viscères. De plus, les valeurs moyennes des concentrations sont systématiquement plus élevée dans les viscères : 65100, 69767 et 55310  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pf pour Anterne, Pormenaz et La Puya, tandis qu'elles sont respectivement de 14697, 11157 et 14930  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pf dans la chair. Ce constat est probablement lié aux modalités de bioaccumulation du Zinc, qui s'effectue principalement dans les viscères, seule une fraction passant dans le sang et dans la chair des poissons.

#### - Comparaison avec les autres sites :

L'analyse statistique de l'ensemble des lots analysés en Haute-Savoie met en évidence une différence significative entre eux, aussi bien en ce qui concerne la teneur en Cadmium dans les viscères (Kruskal-wallis, p value < 0.0001, alpha = 0.05) que dans la chair (Kruskal-wallis, p value = 0.013, alpha = 0.05).

La comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral) révèle une situation moins contrastée pour le compartiment chair, comme constaté précédemment pour le cuivre, probablement du fait des mécanismes de bioaccumulation. De fait, si Pormenaz se situent parmi les plus faibles moyennes observées, les lots d'Anterne et de La Puya figurent parmi les valeurs moyennes à fortes.

Pour les concentrations dans les viscères en revanche, les trois lots des sites objet de l'étude sont ceux qui présentent les plus faibles valeurs moyennes de concentration en Zinc.

Ces observations vont dans le sens de l'hypothèse d'une contamination globale liée aux retombées atmosphériques, émises en 2006 par Arnaud Caudron dans le cadre des analyses effectuées sur le bassin versant de l'Arve (Caudron, 2006).

Echantillon	Effectif	Groupes		
F. Reignier aval Zn C	5	A		
Bon nant Zn C	9	A		
Pormenaz Zn C	6	A		
F. Reignier amt Zn C	5	A	B	
Borne amt Zn C	5	A	B	
Arve aval Zn C	11	A	B	
Anterne Zn C	6	A	B	C
Arve Sallanches Zn C	9	A	B	C
La puya Zn C	10		B	C
Menoge amt Zn C	5			C

Tableau 9 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Zn dans la chair (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).

Echantillon	Effectif	Groupes			
La puya Zn V	10	A			
Anterne Zn V	6	A	B		
Pormenaz Zn V	6	A	B		
Bon nant Zn V	9	A	B		
F. Reignier amt Zn V	5	A	B	C	
Borne amt Zn V	5	A	B	C	D
F. Reignier aval Zn V	5		B	C	D
Menoge amt Zn V	5		B	C	D
Arve Sallanches Zn V	9			C	D
Arve aval Zn V	11				D

Tableau 10 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en Zn dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).

➤ Comestibilité des poissons sur les secteurs échantillonnés

La quantité de poissons à ingérer pour atteindre les doses journalières admissibles selon les valeurs fournies par l'INERIS (2005) et l'OMS (2002), est calculée sur la base de la concentration moyenne obtenue sur l'ensemble des individus échantillonnés sur les lacs d'Anterne et de Pormenaz (Cf tableau 27).

Il apparaît que les doses journalières admissibles pourraient difficilement être atteinte sur les deux lacs. En effet, il faudrait, pour un individu de 65 Kg, consommer 800g de chair de poisson du lac de Pormenaz pour atteindre la DJA en Chrome (la plus pénalisante sur ce lac), et, de la même manière sur Anterne, 1.3 Kg de chair pour atteindre la DJA en Zinc. Ces chiffres correspondraient, au vu de la masse des poissons maillés observée lors de cette étude, à la consommation d'une dizaine d'ombles ou de truites par jour.

Secteur	Dose Journalière Admissible (INERIS, 2005) (µg/Kg/J)							Quantité moyenne présente dans la chair des poissons (µg/kg/PF)							Quantité nécessaire de chair pour atteindre la DJA pour une pers. de 65 kg (kg)						
	Cadmium	Chrome	Cuivre	Mercure	Nickel	Plomb	Zinc	Cadmium	Chrome	Cuivre	Mercure	Nickel	Plomb	Zinc	Cadmium	Chrome	Cuivre	Mercure	Nickel	Plomb	Zinc
Bon Nant								16	722	282	0	561	8	10827	2,1	0,3	32,2		0,6	29,3	1,8
Anterne	0,5	3	140	0,3	5	3,5	300	10	72	150	0	65	0	14697	3,3	2,7	60,7		5,0		1,3
Pormenaz								0	243	330	0	187	0	11157		0,8	27,6		1,7		1,7
La puya								0	0	360	0	0	0	14930			25,3				1,3
Arve aval								0	308	904	0	0	0	12282		0,6	10,1				1,6
Arve Sallanches								0	116	868	0	0	0	12611		1,7	10,5				1,5
F. Reignier amt								0	0	560	0	0	0	11520			16,3				1,7
F. Reignier aval								0	0	448	0	0	0	10200			20,3				1,9
Menoge amt								0	0	474	0	0	0	15900			19,2				1,2
Borne amt	32,5	195	9100	19,5	325	227,5	19500	0	0	364	0	0	0	12260			25,0				1,6

Tableau 11: Quantité de poissons à ingérer pour atteindre les doses journalières admissibles selon les valeurs fournies par l'INERIS (2005) et l'OMS (2002) sur l'ensemble des secteurs analysés en Haute-Savoie.

## IV-2 Contamination par les PCB :

### ➤ Résultats globaux

Des traces de PCB ont été retrouvées dans tous les poissons analysés, que ce soit sur Anterne ou sur Pormenaz (Cf figure 2). Les concentrations sont systématiquement plus élevées dans les viscères, ce qui est probablement lié à la bioaccumulation préférentielle des PCB dans les graisses. Cependant, les concentrations retrouvées restent toutes en deçà de la valeur seuil de 8 pg/gPF TEQ. De plus, tous les individus analysés présentent des concentrations dans la chair inférieures à 1,5 pg/gPF TEQ. On peut donc exclure tout risque sanitaire en cas de consommation de poissons de ces deux lacs.

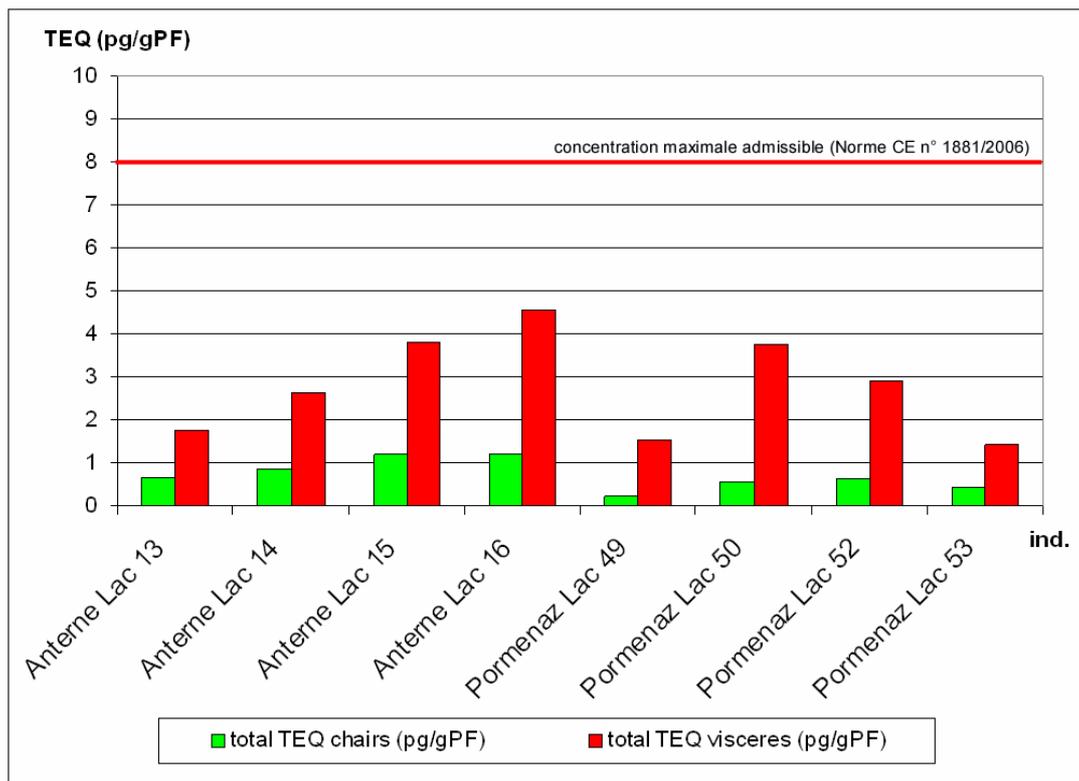


Figure 2 : Concentration en PCB (TEQ pg/gPF) dans la chair et les viscères des poissons des lacs d'Anterne et de Pormenaz

### ➤ Comparaisons avec les ombles des grands lacs alpins

L'analyse statistique n'a porté que sur les valeurs de concentrations dans la chair, seul ce compartiment ayant fait l'objet d'analyse dans les trois grands lacs alpins (Bourget (CISALB, 2008), Annecy (SILA, 2007 ; DDSV74, 2008) et Léman (CIPEL, 2007 ; DDSV74, 2008)). De plus, la comparaison n'a été faite qu'avec ces trois sites afin de ne comparer que des concentrations en PCB pour l'omble (les résultats disponibles sur d'autres sites concernant d'autres espèces).

Il existe des différences significatives au sein des cinq sites analysés (Kruskal-walllis, p value <0.0001, alpha= 0.05). La comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral) distingue clairement le lac du Bourget, assez fortement contaminé, des autres sites (Cf tableau 12). Si Anterne et Pormenaz, les sites les moins contaminés,

présentent des différences significatives claires avec le Bourget et le Léman, ils n'en présentent pas avec le lac d'Annecy. Ce constat est du au fait que sur ce dernier, bien qu'un individu dépassant le seuil de 8 pg/gPF TEQ ait été trouvé, la valeur moyenne des concentration en équivalent dioxine demeure à un niveau relativement faible en comparaison avec les deux autres grands lacs alpins.

Echantillon	Groupes		
Lac Pormenaz TEQ C	A		
Lac Anterne TEQ C	A		
Lac d'Annecy TEQ C	A	B	
Lac Léman TEQ C		B	
Lac du Bourget TEQ C			C

Tableau 12 : Regroupement statistique des échantillons pour les concentrations en PCB (TEQ) dans les viscères (comparaison multiple par paires suivant la procédure de Dunn (test bilatéral)).

#### IV-3 Bilan sur les contaminations toxiques :

De manière globale, les deux lacs de montagne étudiés présentent des concentrations en toxiques dans la chair et les viscères des poissons se positionnant dans la gamme basse des valeurs moyennes constatées dans le département, et correspondant à un bruit de fond constaté sur les sites les moins pollués (concentrations ubiquitaires).

Cependant, il existe une exception à ce constat concernant le Cadmium, pour lequel Anterne et Pormenaz présentent des valeurs moyennes de concentrations figurant parmi les plus fortes de tous les sites sur lesquels nous possédons des données. L'hypothèse d'une contamination des poissons lors de la première phase de leur vie en pisciculture peut être écartée, puisque pour cet élément, comme d'ailleurs pour tous les autres analysés au cours de cette étude, les poissons issus du stock de la Puya présentent des concentrations inférieures ou égales à celle des poissons des lacs.

De plus, on note également la présence de PCB, en faible quantité, dans les poissons de ces deux lacs de montagne. L'origine naturelle des ces deux composés (Cd et PCB) étant plus qu'improbable, il apparaît que, bien que situés à 2000 m d'altitude, et bien que les bassins versants de ces plans d'eau soit dépourvus de sources de contaminations directe, puisque composés d'alpages de pierriers et de névés, ces milieux ne sont pas exempts de contamination toxique. La seule origine possible et vraisemblable de cette contamination est un apport par les retombées atmosphériques (pluie, neige).

De fait, il apparaît au vu des résultats de cette étude, que la contamination par les toxiques est aujourd'hui globale, et qu'aussi préservés que peuvent paraître les milieux, aucun n'est exempt d'une contamination correspondant à minima à un bruit de fond lié à des activités anthropiques pourtant absentes du bassin versant. Si dans le cas des lacs d'Anterne et de Pormenaz, cette contamination ne pose aucun problème sanitaire du fait de sa faible intensité, sa simple présence soulève des interrogations du point de vue environnemental, d'autant plus que les effets des composés incriminés sur la faune sauvage restent encore peu connus.

## BIBLIOGRAPHIE

Agence de l'eau RMC, 2009. Pollution par les PCB. [http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/milieux-continentaux/pollution\\_PCB/index.php](http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/milieux-continentaux/pollution_PCB/index.php)

Arnaud F., 2003. Signatures climatique et anthropique dans les sédiments holocènes des lacs du Bourget et d'Anerne (nord-ouest des Alpes). Paléohydrologie et contamination au plomb. Thèse de doctorat, Lille, École doctorale des sciences de la matière du rayonnement et de l'environnement, *Université des Sciences et Techniques de Lille 1*, 196 pages

Cachéra S., 2005. Métaux et micropolluants organiques dans les eaux et les poissons du lac du Bourget, campagne 2005. Note de synthèse. CISALB, Chambéry.

Caudron, A., 2006. Première évaluation de la contamination par les métaux lourds chez la truite commune (*Salmo trutta*) sur le bassin de l'Arve. *Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique*, rapport FDP74.06/03, 11p.

INERIS, 2005. Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. [http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=3](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=3).

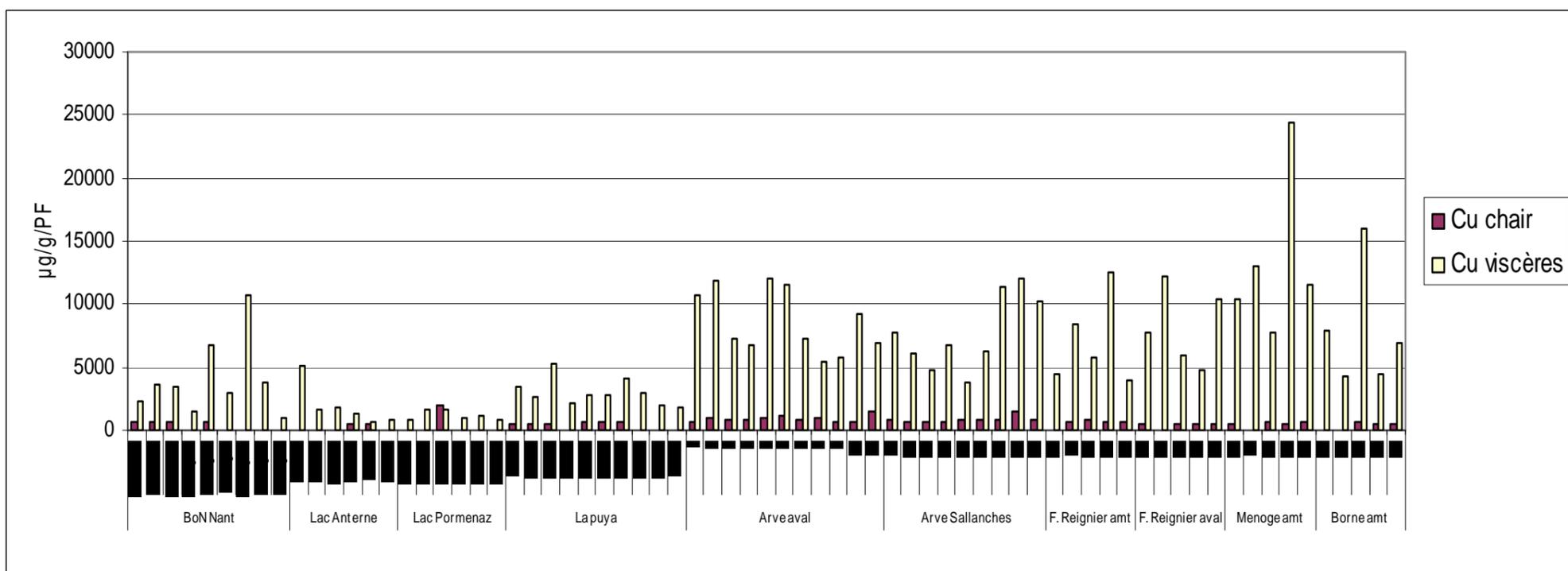
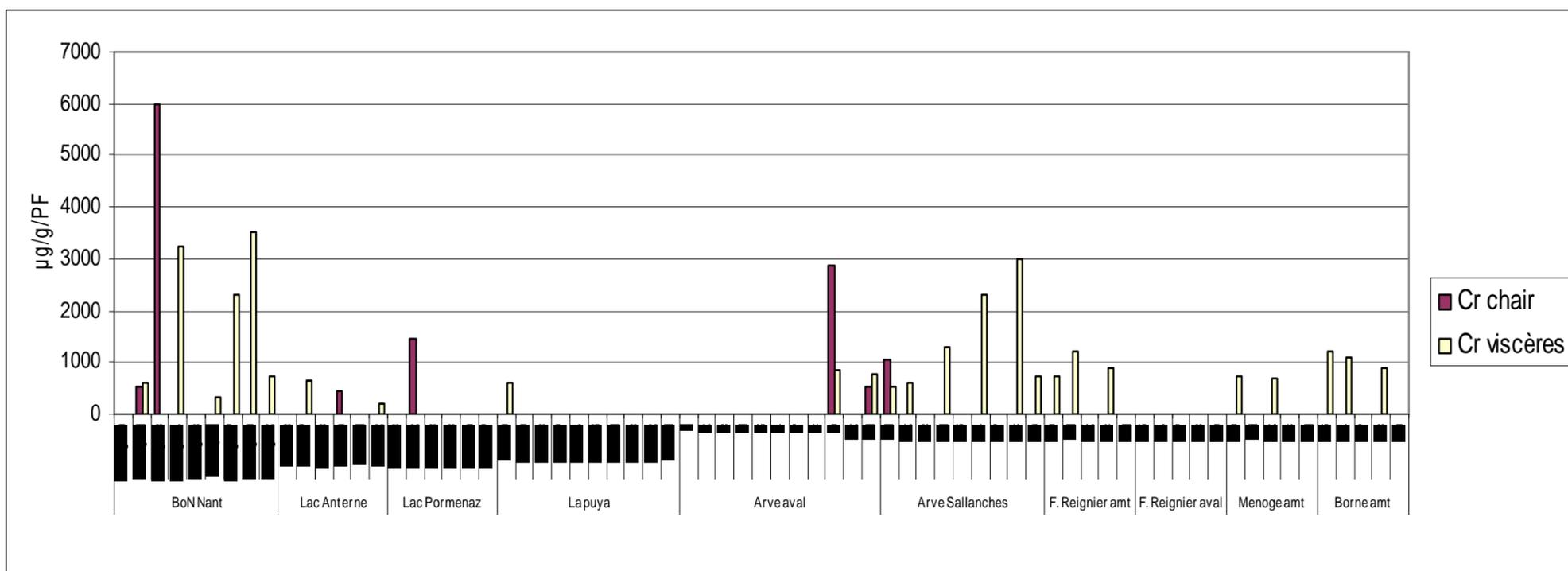
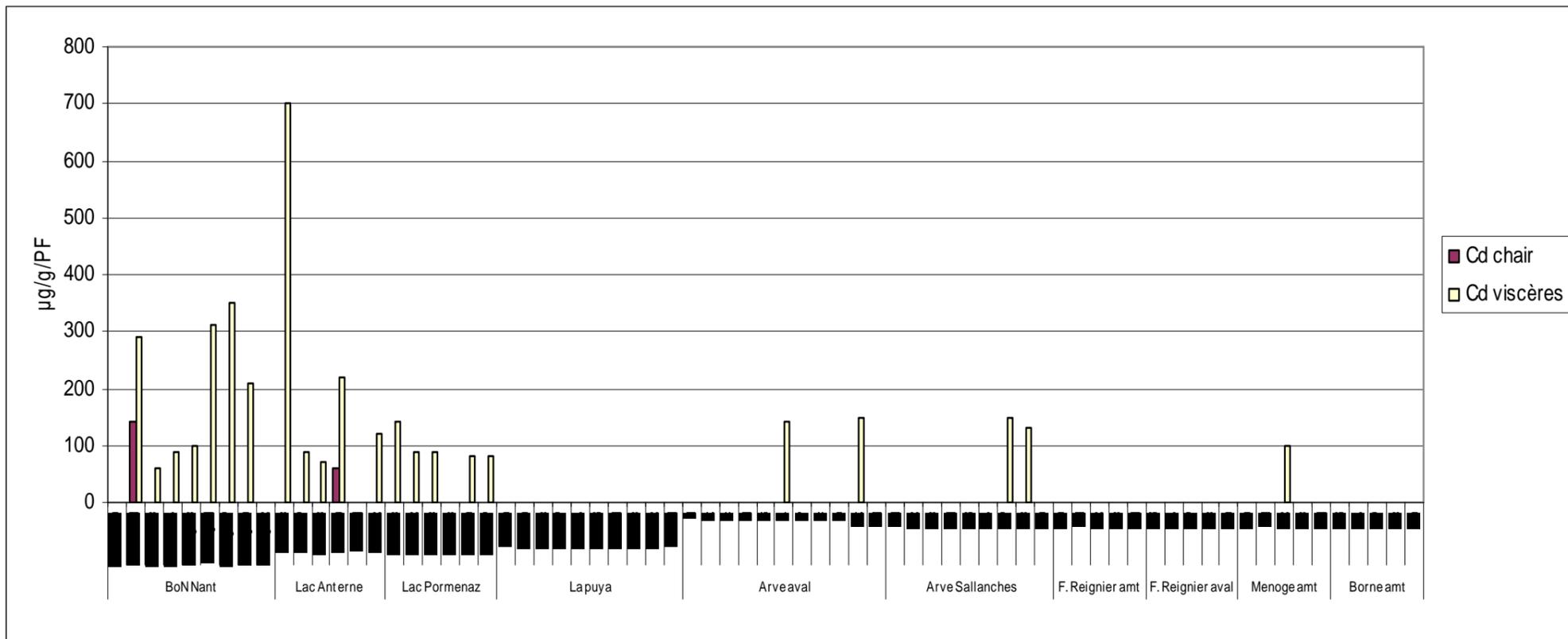
Veysseyre A., Moutard K., Ferrari C. Van de velde K, Barbante C., Cozzi G., Capodaglio G. Boutron C., 2001. Heavy metals in fresh snow collected at different altitudes in the Chamonix and Maurienne valleys, French Alps: initial results. *Atmospheric environment*, 35, 415-425.

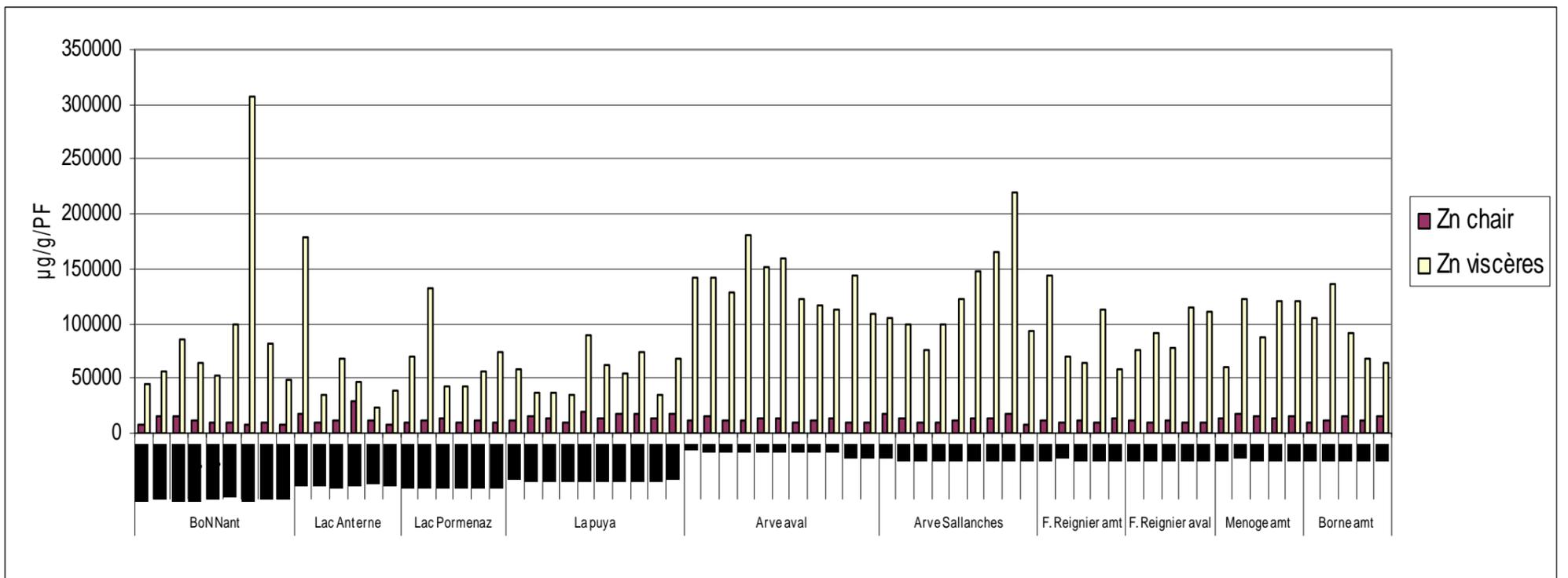
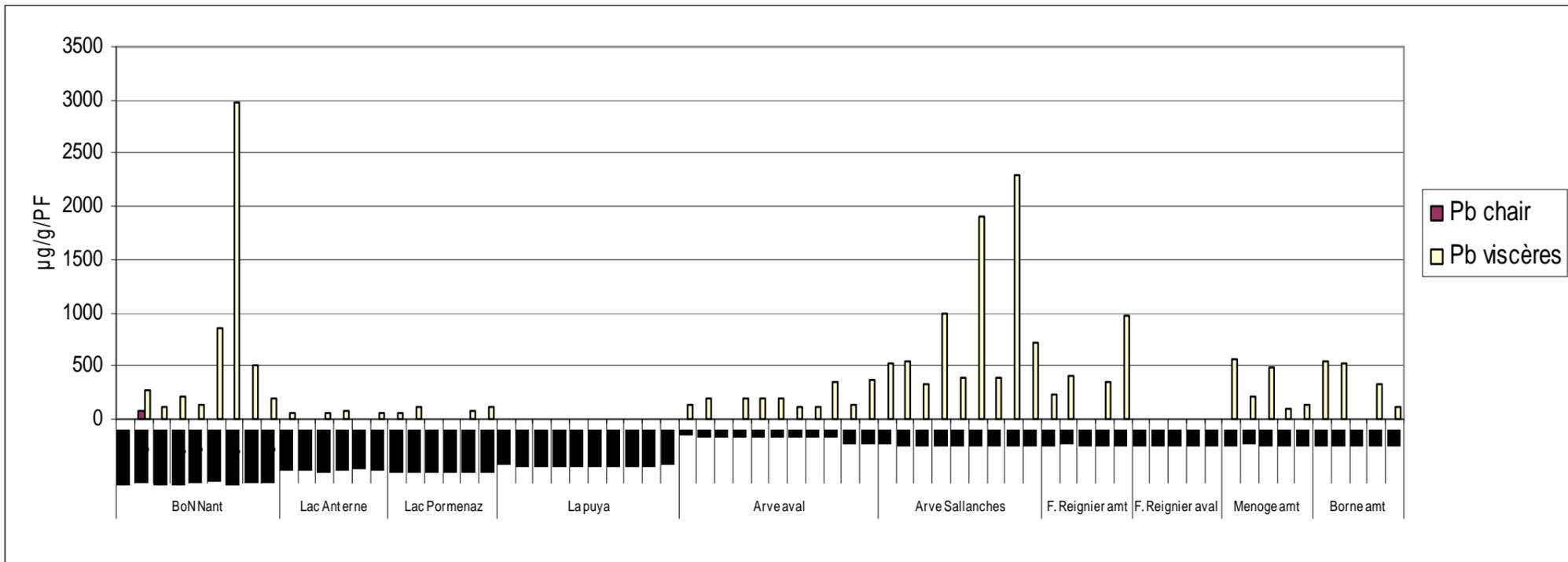
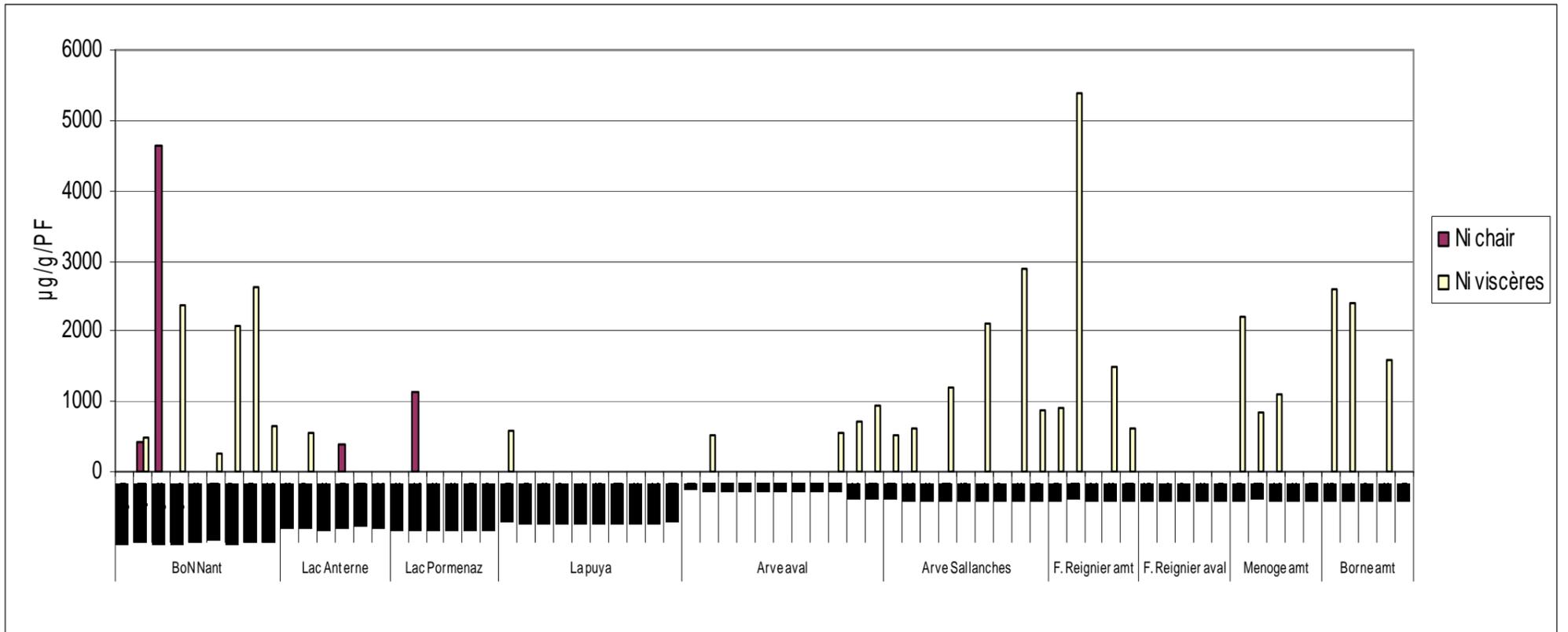
Vigier L., 2009. Diagnostic de la qualité du milieu aquatique et des peuplements piscicoles sur le bassin versant du Bon Nant. *Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique*, Rapport FDP74.09/04, 78p + annexes.

# **ANNEXES**

## ANNEXE 1

Résultats des recherches de métaux lourds dans la chair et les viscères des ombles d'Anterne et de Pormenaz. Comparaison avec les résultats obtenus sur les poissons (Caudron, 2006 ; Vigier, 2009) de plusieurs cours d'eau du bassin de l'Arve et de la pisciculture de La Puya.





## ANNEXE 2

Résultats des recherches de PCB dans la chair et les viscères des ombles des lacs d'Anterne et de Pormenaz.

	Individu	total TEQ chairs (pg/gPF)	total TEQ visceres (pg/gPF)	somme PCB- I chairs (ng/gPF)	somme PCB- I visceres (ng/gPF)
Lac Anterne	Anterne Lac 13	0,66	1,77	13,37	34,34
	Anterne Lac 14	0,86	2,65	40,71	125,52
	Anterne Lac 15	1,2	3,79	32,42	100,86
	Anterne Lac 16	1,19	4,56	29,08	98,08
Lac Pormenaz	Pormenaz Lac 49	0,23	1,53	1,86	10,73
	Pormenaz Lac 50	0,56	3,76	3,33	20,8
	Pormenaz Lac 52	0,63	2,9	4,27	18,75
	Pormenaz Lac 53	0,43	1,45	3,42	8,15

Résultats des recherches de PCB (PCB dioxin-like et PCB indicateurs) dans la chair et les viscères des ombles des lacs d'Anterne et de Pormenaz.