



**Internationale Kommission zum Schutz des Rheins
Commission Internationale pour la Protection du Rhin
Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn**

Rapport sur l'état du Rhin 1995

Qualité des sédiments sur le profil longitudinal du Rhin

Campagnes nationales de mesure

Sommaire

1. Introduction
2. Programme de mesure
 - 2.1 Prélèvement
 - 2.2 Traitement et analyse des échantillons
 - 2.3 Conditions hydrologiques pendant le prélèvement
3. Résultats des analyses nationales des sédiments 1995
 - 3.1 Datation et contrôle de la qualité
 - 3.2 Répartition granulométrique
 - 3.3 Paramètres généraux
 - 3.4 Azote et phosphore
 - 3.5 Métaux et arsenic
 - 3.6 Micropolluants organiques
4. Synthèse
5. Annexes

1. Introduction

La partie A du rapport sur l'état du Rhin 1995 présente la qualité des sédiments sur le profil longitudinal du Rhin dans les stations internationales de mesure (A-m 87/97). La partie B de ce rapport englobe les analyses nationales des sédiments sur le profil longitudinal du Rhin ; les résultats du programme international de mesure sont également présentés aux fins de comparaison. Pour une meilleure clarté, le Rhin a été subdivisé en tronçons : du haut Rhin jusqu'à Coblenche, de Coblenche jusqu'au delta (rive gauche et delta méridional) ainsi que de Königswinter jusqu'à Rotterdam (rive droite et delta septentrional).

Un premier inventaire des sédiments du Rhin a été établi en 1988, mais sans prise en compte des analyses nationales. Quelques résultats des analyses nationales ont déjà été intégrés dans le deuxième inventaire dressé en 1990. Les dates de prélèvement divergeant de celles des campagnes de mesure internationales et les fractions analysées dans les métaux lourds étant différentes, les experts ont soumis des propositions de complément et d'harmonisation pour l'assurance de la qualité lors du prélèvement et de l'analyse et pour l'ajustement des analyses nationales et du programme international de mesure des sédiments; ces propositions ayant pu être réalisées en majeure partie en 1995, nous disposons pour cette année de référence d'un inventaire détaillé et comparable de la qualité des sédiments sur le profil longitudinal du Rhin depuis le haut Rhin jusqu'à la zone deltaïque.

Le rapport sur la campagne de mesure internationale fait également état de l'évolution de la qualité des sédiments du Rhin depuis 1988. En regard de l'hétérogénéité susmentionnée des analyses nationales de 1990, la partie B du présent rapport ne porte que sur l'inventaire 1995.

Le réseau international de stations de mesure et les analyses nationales ayant également été étendus au haut Rhin, il est à présent possible de fournir des informations sur le bruit de fond des sédiments du Rhin.

2. Programme de mesure

En 1995, le programme de mesure des sédiments sur le Rhin comprend 10 stations de mesure internationales (tab. 2.1) et 22 stations nationales (tab. 2.2). Par rapport à l'inventaire 1990, le réseau international de mesure est étendu à Birsfelden sur le haut Rhin, Haringvlietsluis dans le delta Rhin-Meuse et à la Ketelmeer à sa transition avec l'IJsselmeer.

A l'opposé de 1990, les analyses nationales sont ajustées à l'étude internationale. Par ailleurs, les Länder de Bade-Wurtemberg (6 stations de mesure) et de Rhénanie-Palatinat (2 stations de mesure) ont transmis les résultats de leurs analyses (tab. 2.3).

2.1 Prélèvement

Dans presque toutes les stations de mesure internationales et dans toutes les stations en Rhénanie-du-Nord-Westphalie, les échantillons de sédiments ont été prélevés en septembre 1995 à partir du bateau-laboratoire « Max Prüss » à l'aide d'un grappin. Font exception les stations de mesure Ketelmeer, Haringvlietsluis, Rotterdamse Hoek sur l'IJsselmeer et Hagestein (Lek), où les échantillons ont été prélevés par le RIZA en octobre 1995 également à l'aide d'un grappin, de même que les stations de Kadelburg et Laufenburg sur le haut Rhin, où le LUA et le Gewässerschutzamt Basel (GSA) ont prélevé en commun des échantillons à l'aide d'un godet depuis la rive après le passage du « Max Prüss ».

Tableau 2.1 : Stations de mesure internationales

Station de mesure	PK du Rhin	Date du prélèvement
Augst-Wyhlen	155,2 droite	17.09.1995
Birsfelden	163 gauche	17.09.1995
Weil	174 droite	17.09.1995
Iffezheim	334 milieu	15.09.1995
Coblence	590 gauche	12.09.1995
Lohrwardt	830 droite	09.09.1995
Lobith	863 droite	08.09.1995
Keeken-Bimmen	863,8 gauche	08.09.1995
Ketelmeer	1010	09.10.1995

Tableau 2.2 : Stations de mesure nationales

Station de mesure	PK du Rhin		Date du prélèvement
CH Kadelburg	90	droite	19.09.1995
CH Laufenburg	113	gauche	19.09.1995
F Kembs	180	droite	17.09.1995
D Oberwinter	639,1	gauche	11.09.1995
D Königswinter	646,7	droite	11.09.1995
D Köln-Deutz	687,3	droite	10.09.1995
D Köln-Niehl	695,6	gauche	10.09.1995
D Hitdorf	706,9	droite	10.09.1995
D Neuss-Gnadenhal	735,8	gauche	10.09.1995
D Düsseldorf	743,1	droite	10.09.1995
D Krefeld	764,1	gauche	10.09.1995
D Duisburg-Rheinhausen	773,6	gauche	10.09.1995
D Duisburg, Außenhafen	776,6	droite	10.09.1995
D Duisburg, Rheinpreußenhafen	781,1	gauche	09.09.1995
D Emmelsum, Kanaleinfahrt	813,1	droite	09.09.1995
D Wesel	814,6	droite	09.09.1995
D Gravière de Müllershof	848,2	gauche	09.09.1995
NL Hagestein (Lek)	943	delta septentrional	16.10.1995
NL Puttershoek (Oude Maas)	983,5	delta méridional	07.09.1995
NL Bovensluis (Hollandsch Diep)	990	delta méridional	07.09.1995
NL Rotterdam (Nieuwe Maas)	992,3	delta septentrional	07.09.1995
NL Rotterdamse Hoek (Ijsselmeer)	1030		24.10.1995
NL Harinvlietsluis*	1025	delta méridional	16.10.1995

* Cette station de mesure a également été évaluée dans le rapport « Qualité des sédiments sur le profil longitudinal du Rhin ; partie A »

Tableau 2.3 : Autres analyses nationales

Station de mesure	PK du Rhin		Date du prélèvement
D Rheinau	56		12.12.1994
D Birsfelden	162		22.11.1995
D Weil	174	droite	20.11.1995
D Nonnenweier	268,5		16.11.1995
D Gamsheim	307,9		16.11.1995
D Iffezheim	331,6		28.11.1995
D Speyer	400,4	gauche	06.09.1995
D Brohl	621,5	gauche	04.09.1995

2.2 Traitement et analyse des échantillons

Les analyses effectuées dans les stations de mesure nationales portent sur les éléments suivants :

<u>Groupe d'analyse</u>	<u>Institut</u>
Datation	toutes les stations de mesure du tableau 2.2 : LUA sauf l'IJsselmeer : RIZA (seulement le Cs-137)
Répartition granulométrique	toutes les stations de mesure du tableau 2.2 sauf la zone deltaïque : LUA, zone deltaïque : RIZA
Paramètres généraux	Kadelburg, Laufenburg : GSA, LUA ; Kembs jusqu'à la gravière de Müllershof: LUA ; zone deltaïque: RIZA
Métaux lourds (fraction < 20 µm)	toutes les stations de mesure du tableau 2.2 sauf l'IJsselmeer : LUA ; zone deltaïque sauf l'IJsselmeer : RIZA ; stations de mesure du tableau 2.3 : Bade- Wurtemberg ou Rhénanie-Palatinat (Speyer et Brohl)
Micropolluants organiques	GSA, LUA, RIZA
Dioxines	LUA dans des stations de mesure sélectionnées
Composés organoétains	LUA

Contrairement à ce qui était convenu, l'échantillon destiné au dosage des HPA a été séché à l'air et non lyophilisé au LUA afin que l'on puisse recenser également les composés volatils. Le LUA a analysé les composés organoétains après hydrolyse acide des sédiments non traités.

2.3 Conditions hydrologiques pendant le prélèvement

Le débit pluriannuel moyen du Rhin est d'environ 2200 m³/s à hauteur de Lobith. Le Rhin étant alimenté par les eaux pluviales et les eaux de fonte des neiges, les débits plus élevés sont normalement observés au printemps et les débits plus faibles à la fin de l'été et en automne. La figure 2.2. présente les hydrogrammes du Rhin en 1995 sur le profil longitudinal et pour la période de prélèvement. Lors des prélèvements en septembre, le débit à Lobith était de 2000 m³/s. La dernière crue de petite ampleur date de 3 mois, de sorte que des sédiments récents s'étaient déposés dans la plupart des stations de prélèvement. Ceci est également le cas pour les échantillons prélevés à une date ultérieure, étant donné que le débit à Lobith accusait toujours une tendance à la baisse pendant les prélèvements effectués en octobre. Dans les stations situées au Bade-Wurtemberg, les échantillons n'ont été prélevés qu'en novembre : les niveaux d'eau augmentant à cette date, il faut s'attendre à ce que la part d'anciens sédiments soit plus importante.

3. Résultats de l'analyse des sédiments 1995

Ce chapitre décrit les principaux résultats des analyses nationales effectuées en 1995, avec ceux des stations de mesure internationales. Pour les métaux et l'arsenic, les résultats sont en outre comparés aux objectifs de référence. Les résultats complets des analyses nationales figurent dans les tableaux en annexe, les résultats des stations de mesure internationales sont présentés dans la partie A de ce rapport (A-m 87/97).

3.1 Datation

Presque tous les échantillons prélevés dans les stations nationales se composent de matériau récent sans pourcentage notable de particules de sol subhydrique et sont donc bien comparables à ceux des études internationales (figure 3.1). Y font exception les stations de mesure d'Hagestein sur le Lek et Puttershoek avec des pourcentages élevés de particules de sol subhydrique ainsi que celle de Rotterdamse Hoek sur l'IJsselmeer, où les échantillons correspondent aux sédiments du Rhin des années 80 du fait de la teneur élevée en césium 137. C'est pourquoi cette station n'est pas prise en considération dans les figures. La station de mesure de Wesel située sur la rive droite au PK 814,6 juste en aval de l'embouchure de la Lippe est fortement influencée par cette dernière. Les dosages supplémentaires de bismuth 214 et d'actinium 228 montrent que la part de sédiments de la Lippe dans cette station de mesure est d'environ 50 à 70 %. Les échantillons de sédiments prélevés en Rhénanie-Palatinat et au Bade-Würtemberg n'ont pas fait l'objet de datation.

Fig. 3.1 : Datation et assurance de la qualité du prélèvement (radioactivité dans les sédiments du Rhin en 1995 [Bq/kg])

3.2 Répartition granulométrique

En 1995, la répartition granulométrique (figures 3.2.1a-c) suit une évolution très uniforme dans la plupart des stations de mesure. Dans le tronçon du haut Rhin jusqu'à Coblenz, la part de la fraction < 20 µm se situe en général entre 40 et 50 %, alors qu'elle n'est que d'environ 30 % aux stations de Kadelburg et Kembs. Sur la rive gauche du tronçon du Rhin de Coblenz à Haringvlietsluis, les parts de la fraction < 20 µm se situent le plus souvent entre 40 et 50%, à l'exception des stations de Köln-Niehl et de Krefeld avec environ 60 % et de la station internationale de mesure d'Haringvlietsluis qui, avec 72 %, est la station avec la part la plus élevée de limon fin. Sur la rive droite de ce tronçon du Rhin, les parts < 20 µm se situent entre 50 et 60 % et sont en moyenne légèrement plus élevées (exception : Lohrwardt avec 39 %). Les stations nationales au Bade-Wurtemberg et en Rhénanie-Palatinat ne disposent pas de données et les stations néerlandaises n'ont de valeurs comparables que pour la fraction d'argile et la fraction < 63 µm du fait d'un fractionnement différent.

Pour la fraction < 63 µm, les parts mesurées sur le tronçon allant jusqu'à Coblenz se situent entre 70 et 80 %, à l'exception de la station de mesure de Kembs. Ceci s'applique également à presque toutes les stations de mesure sur la rive gauche du Rhin inférieur. Les stations de Köln-Niehl, Krefeld et Haringvlietsluis ont une part de grains fins très élevée (85 à 95 %), alors qu'elle n'atteint que 63 % à Keeken-Bimmen. Sur la rive droite du Rhin, les parts de la fraction < 63 µm sont un peu plus élevées, avec 80 à 90 %, exception faite du Duisburger Außenhafen, de Lobith et notamment de Lohrwardt. Dans les stations néerlandaises, les parts se situent entre 66 % à Rotterdam et 90 % à Bovensluis sur le Hollandsch Diep.

Les parts de sable grossier sont nettement inférieures à 10 % dans toutes les stations de mesure à l'exception de celle de Keeken-Bimmen (23 %).

Fig. 3.2.1a : Répartition granulométrique dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

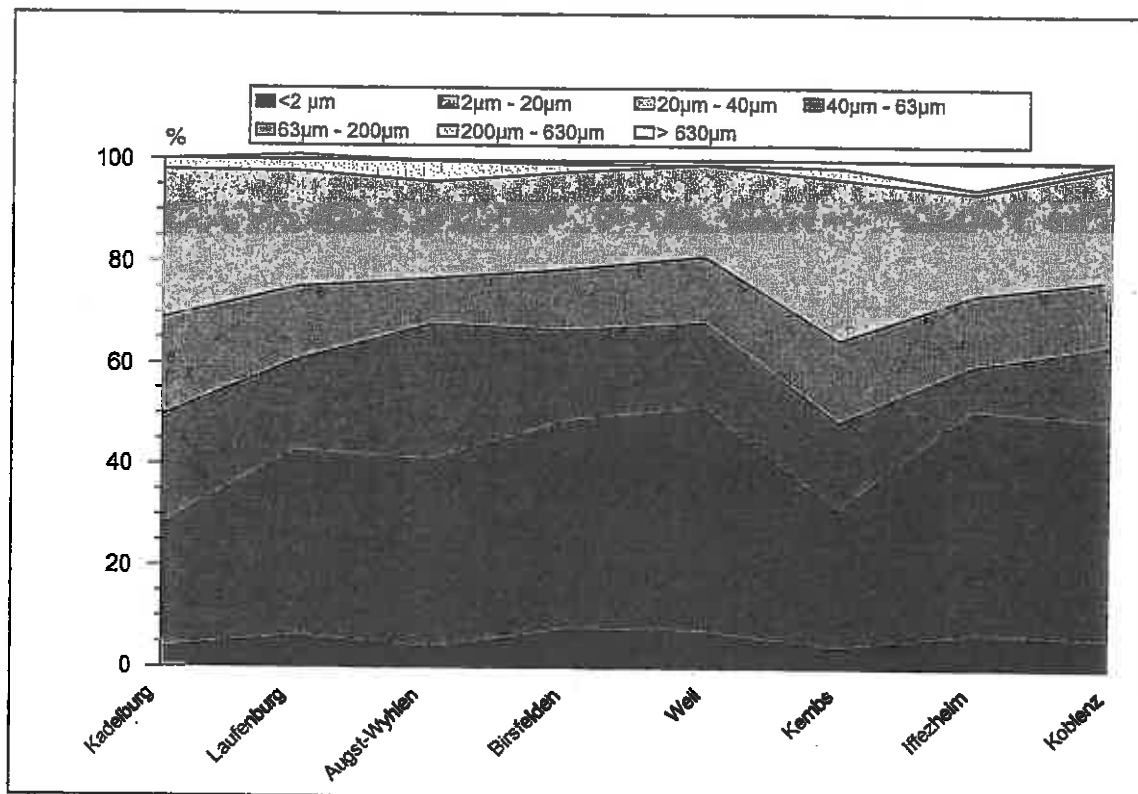


Fig. 3.2.1b : Répartition granulométrique dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

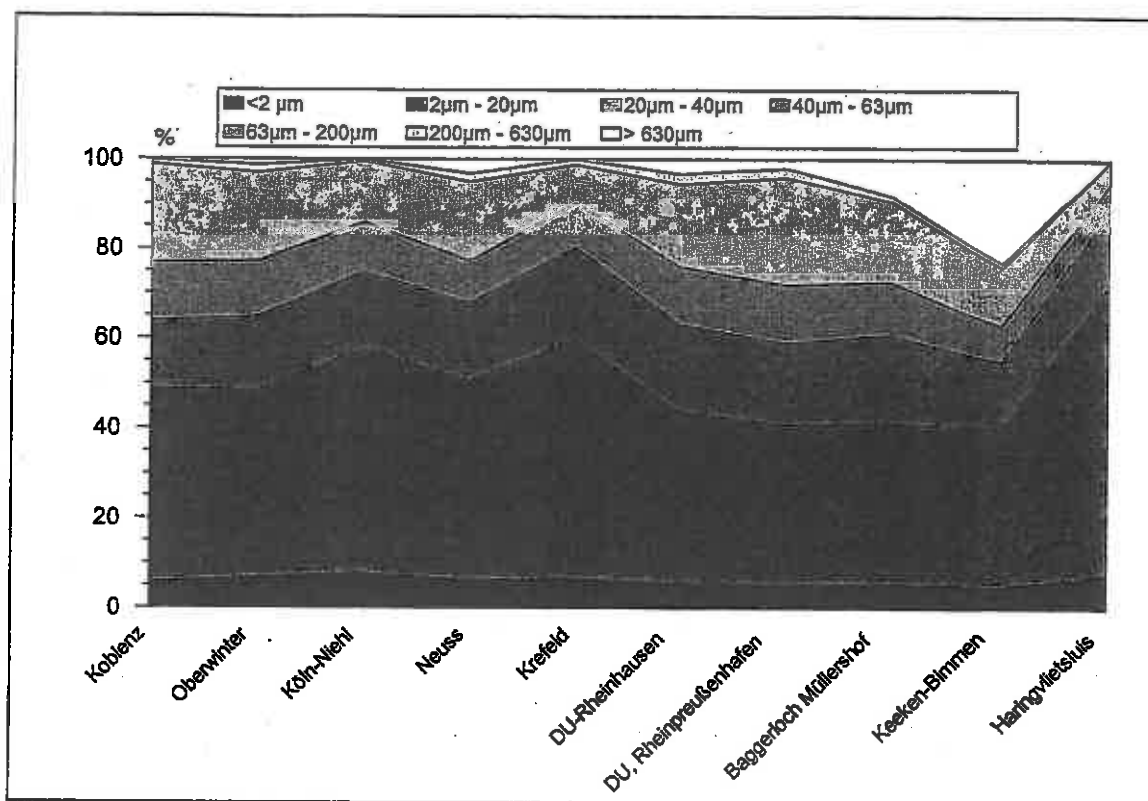
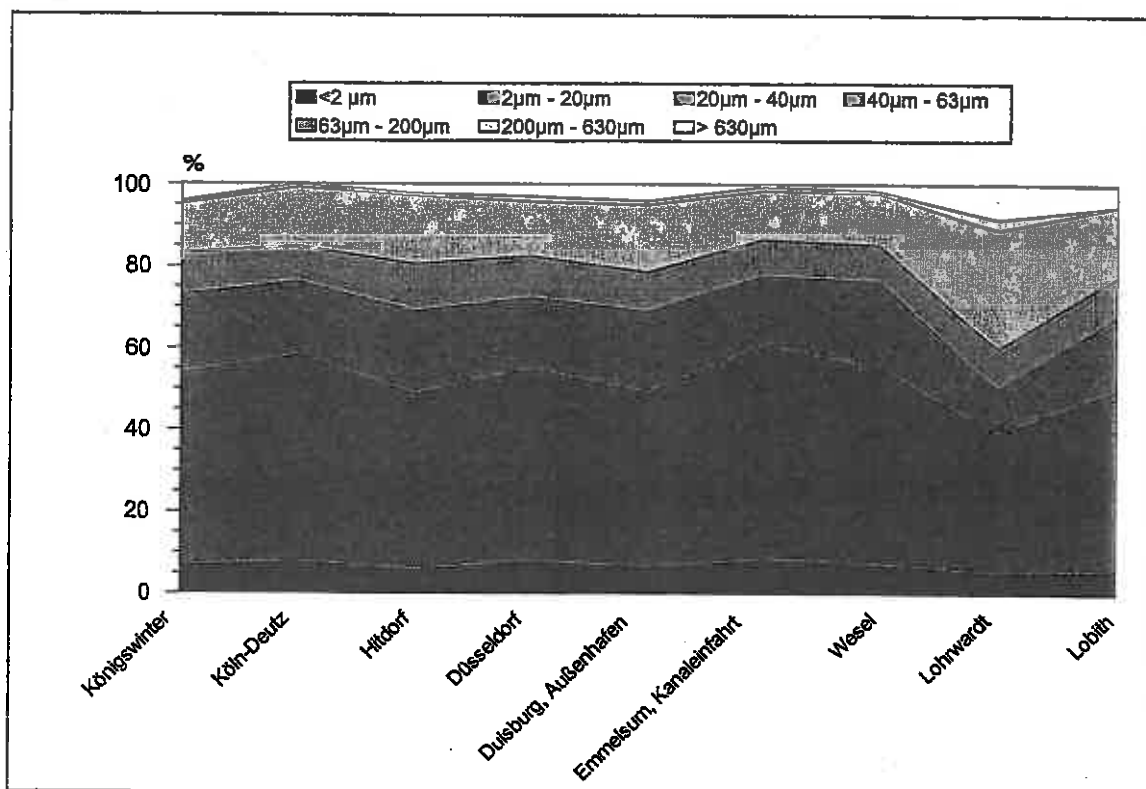


Fig. 3.2.1c : Répartition granulométrique dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Lobith, rive droite



3.3 Paramètres généraux

3.3.1 COT

Entre Kadelburg et Augst-Wyhlen, la teneur en COT (figure 3.3.1a-c) passe de 1,8 à 2,7% et reste à ce niveau jusqu'à Coblenze. A partir de Oberwinter, les teneurs sur la rive gauche s'élèvent à 3 %. En revanche, elles sont de 1,3 % dans la station de mesure de Puttershoek. La plupart des stations situées sur la rive droite accusent des teneurs en COT de plus de 3 % ; à Wessel et Lobith, elles dépassent sensiblement 4% et atteignent 2 % à Hagestein sur le Lek.

Fig. 3.3.1a : Carbone organique total (COT) dans le tronçon compris entre le haut Rhin et Coblenze

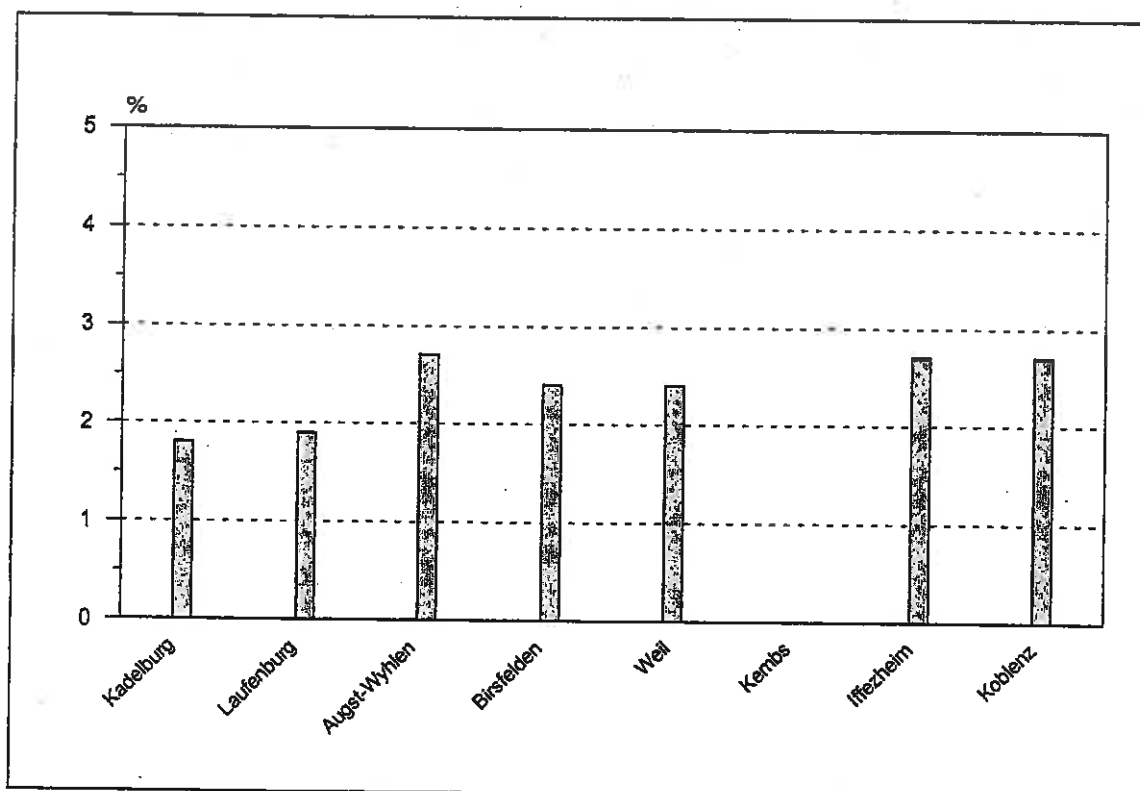


Fig. 3.3.1b : Carbone organique total (COT) dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

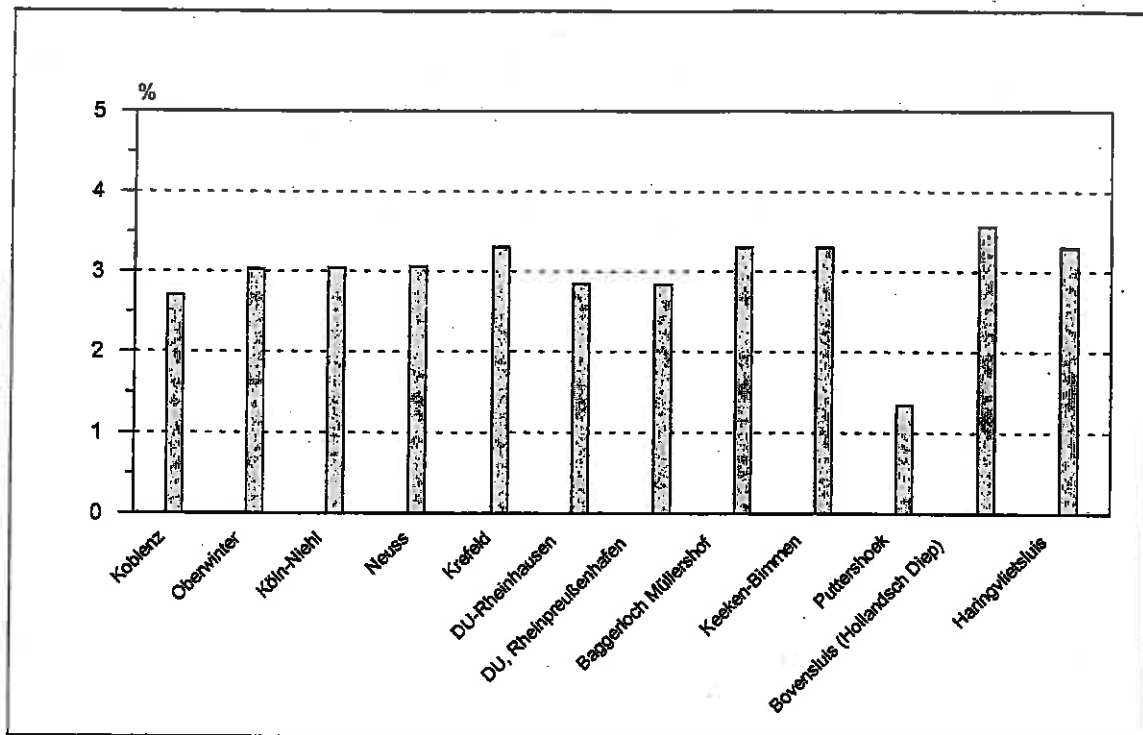
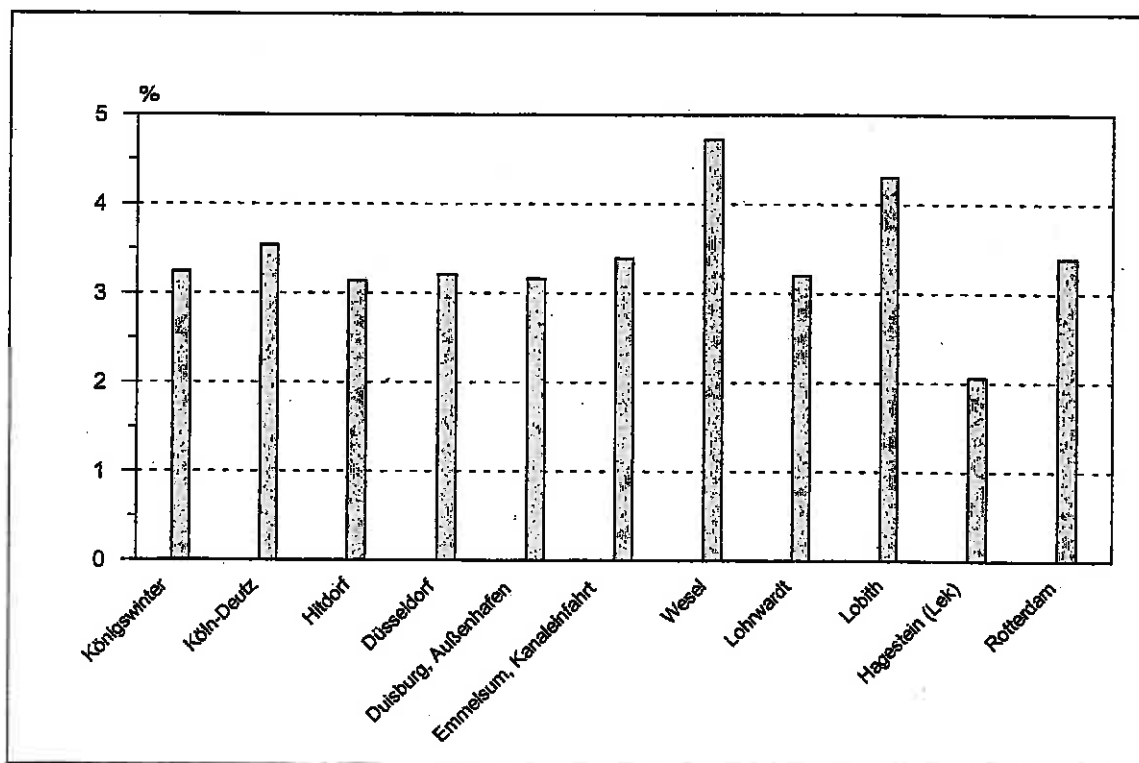


Fig. 3.3.1c : Carbone organique total (COT) dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.3.2 Composés organo-halogénés extractibles (EOX)

Les teneurs en EOX suivent une évolution très hétérogène le long du Rhin. Sur le haut Rhin et le Rhin supérieur, les teneurs varient entre $< 0,1$ mg/kg à Weil et $0,8$ mg/kg à Iffezheim et sur la rive gauche du Rhin inférieur entre $0,2$ mg/kg au Duisburger Rheinpreußenhafen et $0,8$ mg/kg à Neuss. Sur la rive droite, la station la plus contaminée est celle du port d'Hitdorf avec une valeur de $1,5$ mg/kg. A partir du Duisburger Außenhafen, les teneurs en EOX baissent pour atteindre $0,9$ mg/kg à Lohrwardt et $0,6$ mg/kg à Lobith.

Des analyses effectuées par le LUA en 1993 montrent que la contamination est assez élevée aux stations de mesure de Düsseldorf et du Duisburger Außenhafen avec $1,3$ et $1,4$ mg/kg, alors que dans le port d'Hitdorf, la teneur en EOX est en 1993 de moitié inférieure avec $0,8$ mg/kg. Les résultats obtenus dans les autres stations de Rhénanie-du-Nord-Westphalie se situaient pour la plupart dans l'ordre de grandeur de ceux de 1995.

Fig. 3.3.2a : EOX dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

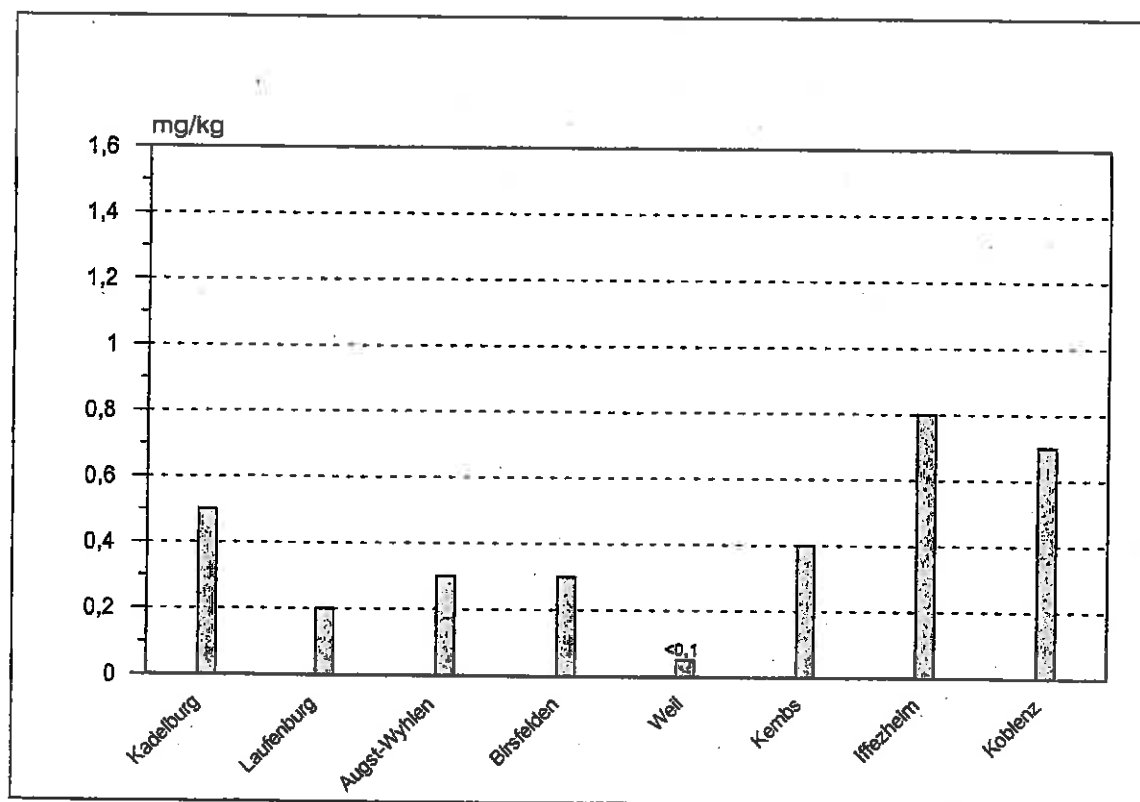


Fig. 3.3.2b : EOX dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

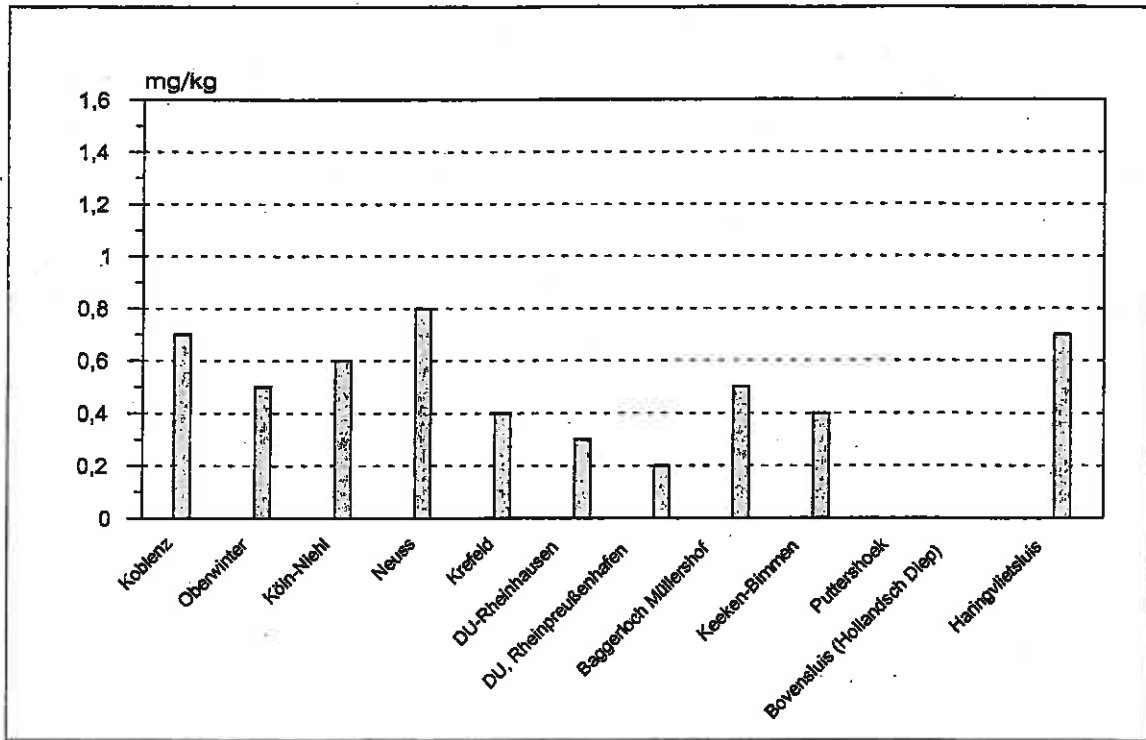
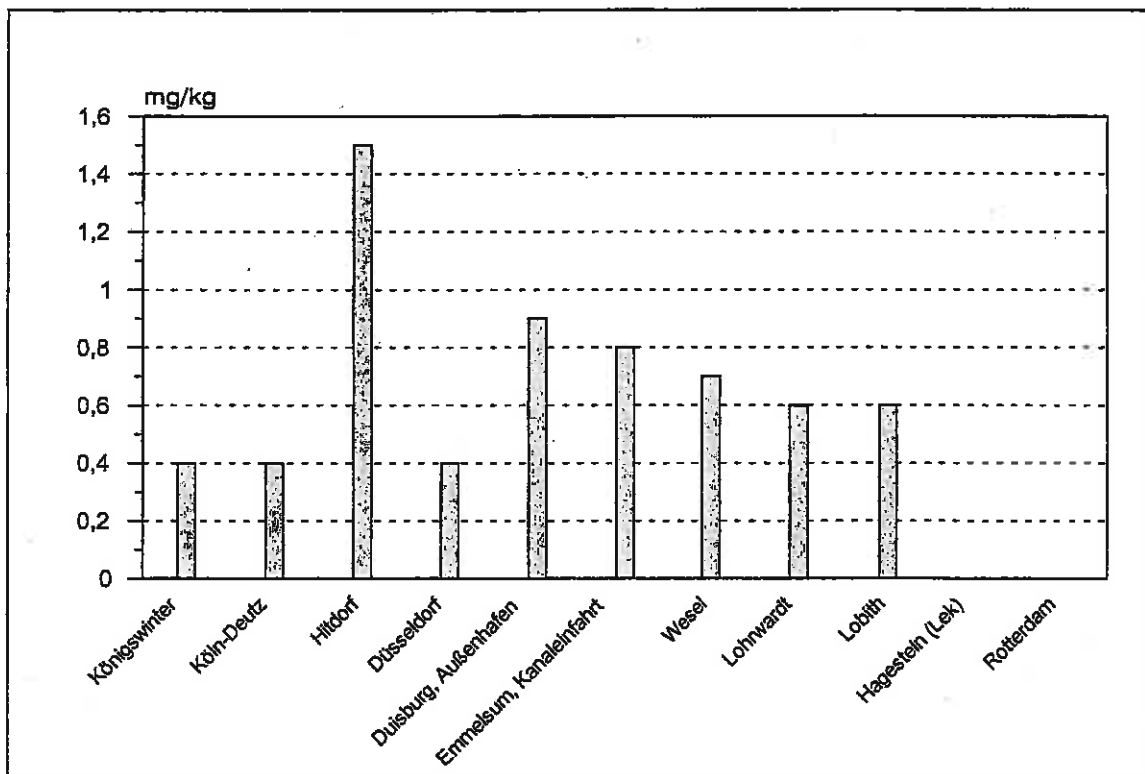


Fig. 3.3.2c : EOX dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Lobith, rive droite



3.4 Azote et phosphore

Sur le haut Rhin et le Rhin supérieur, les teneurs en azote total dans les sédiments du Rhin évoluent autour de 2 g/kg et augmentent à partir de Coblenz pour atteindre des valeurs de l'ordre de 3 g/kg. Y font exception les stations de mesure du Duisburger Rheinpreußenhafen avec 2,2 g/kg et de Wesel avec 4 g/kg, cette dernière étant soumise à l'influence de la Lippe.

Fig. 3.4.1a : azote total dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

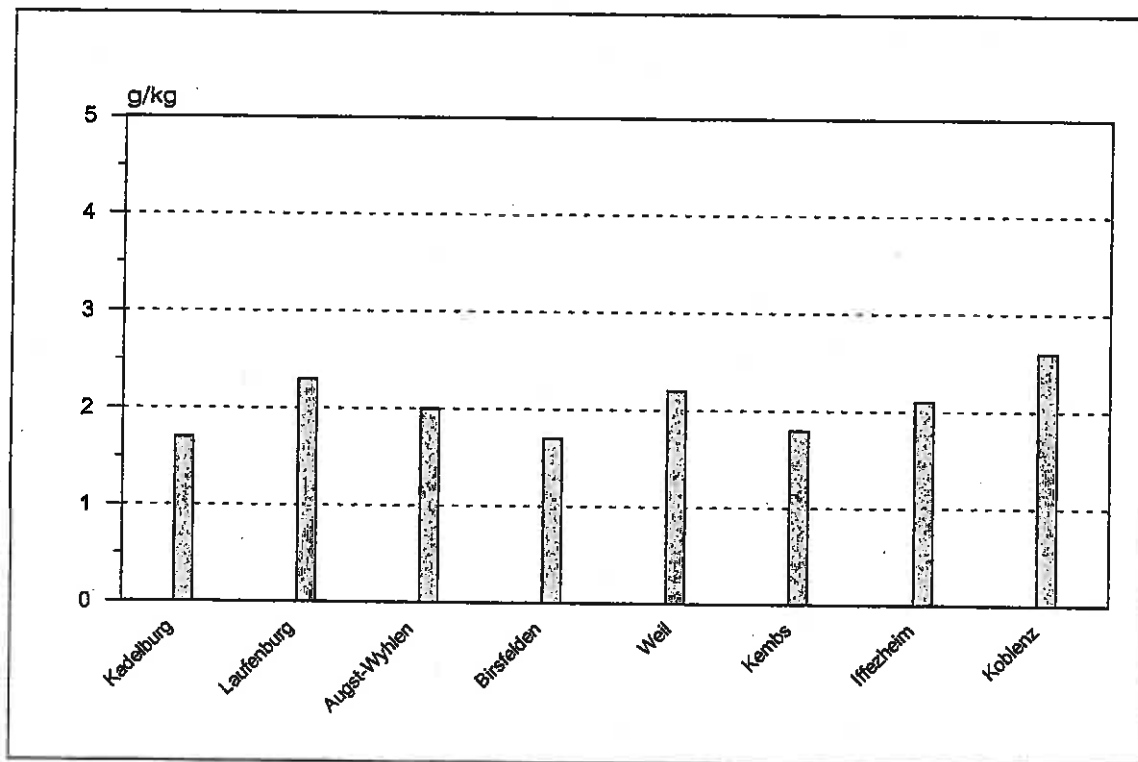


Fig. 3.4.1b : Azote total dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

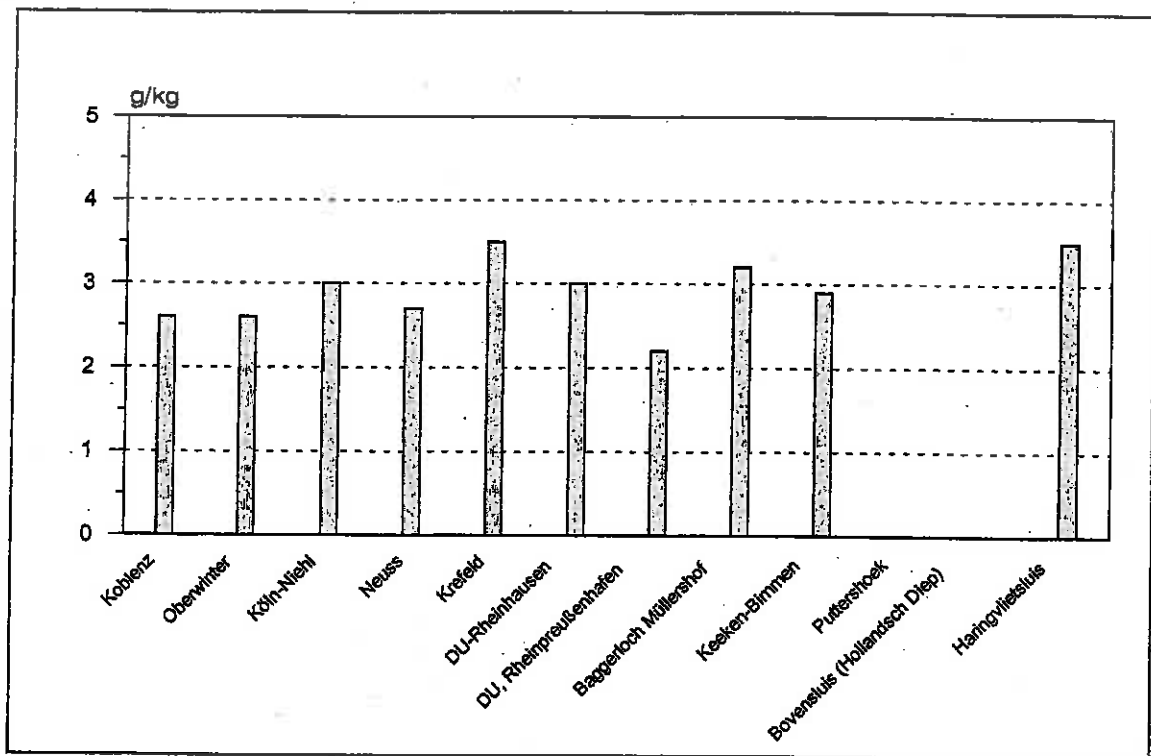
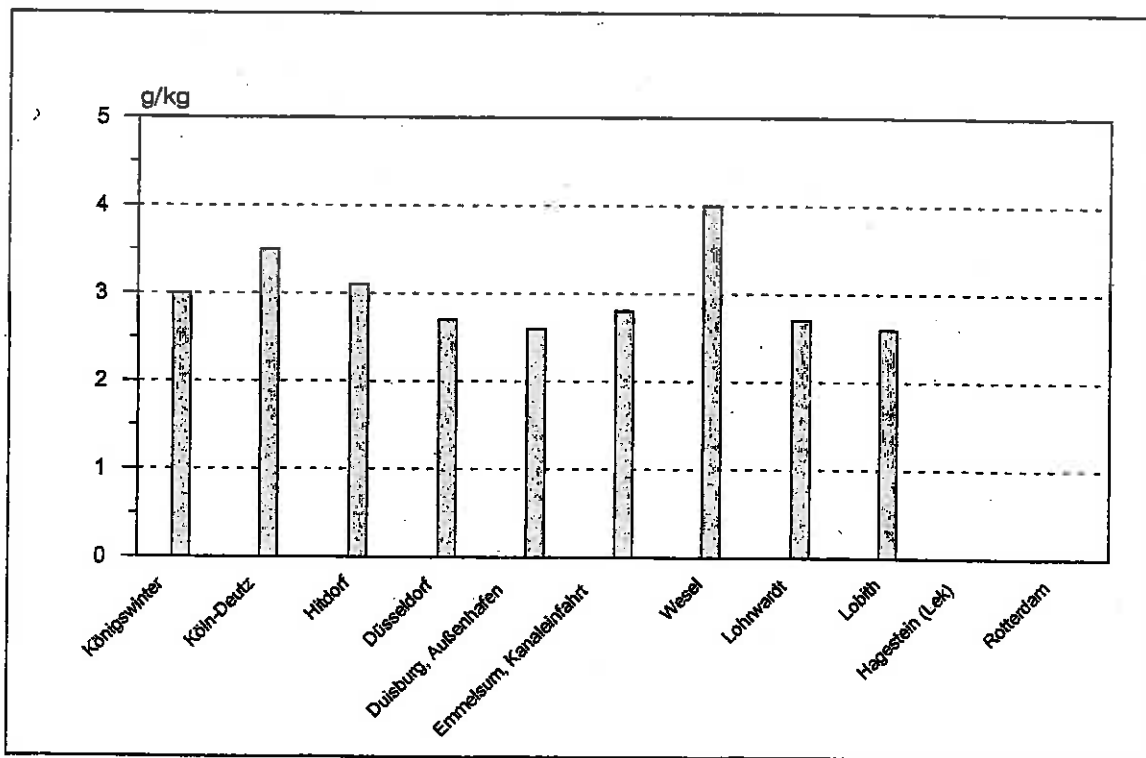


Fig. 3.4.1c : Azote total dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Lobith, rive droite



Les teneurs en phosphore total sont inférieures à 1 g/kg sur le haut Rhin et le Rhin supérieur et passent à 1,5 g/kg à partir de Coblenz. Sur la rive gauche, les teneurs sont plus élevées dans la station de Neuss avec 2,3 g/kg et dans le delta méridional aux stations de Bovensluis sur le Hollandsch Diep avec 2,5 g/kg et d'Haringvlietsluis avec 2,2 g/kg. Sur la rive droite, la teneur en phosphore la plus élevée est observée à Lobith avec 2,5 g/kg et dans le delta septentrional à Rotterdam avec 2,0 g/kg.

Fig. 3.4.2a : Phosphore total dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

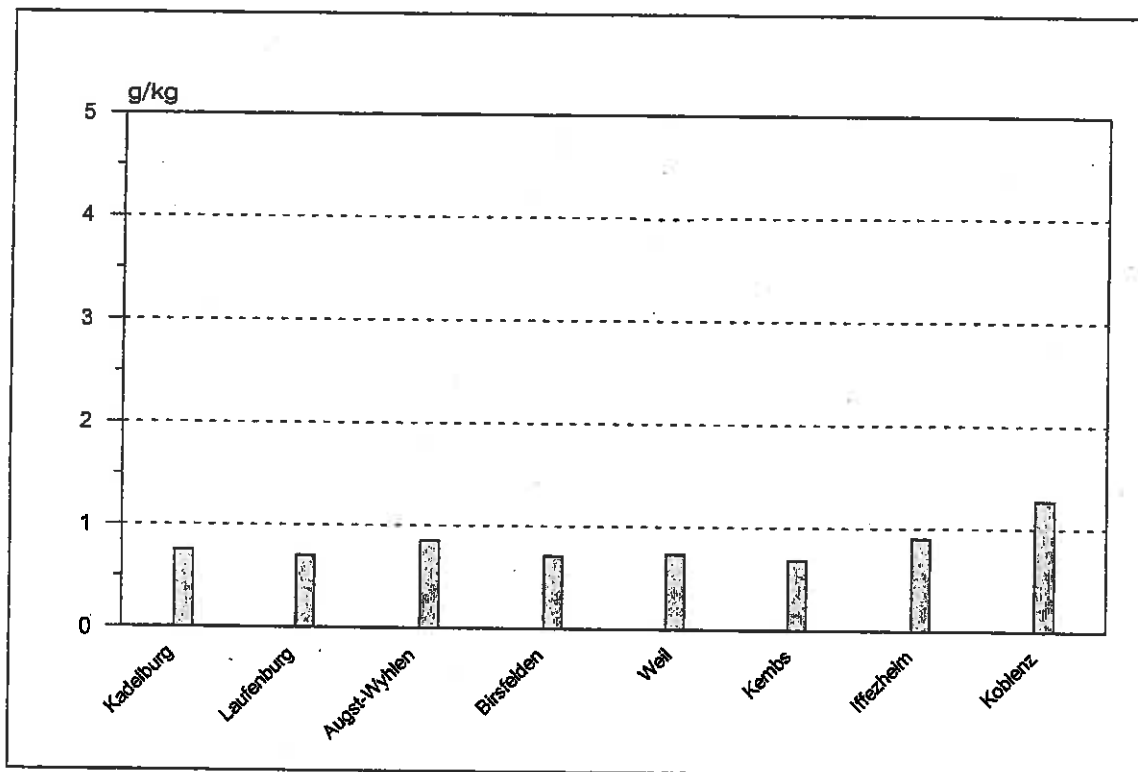


Fig. 3.4.2b : Phosphore total dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

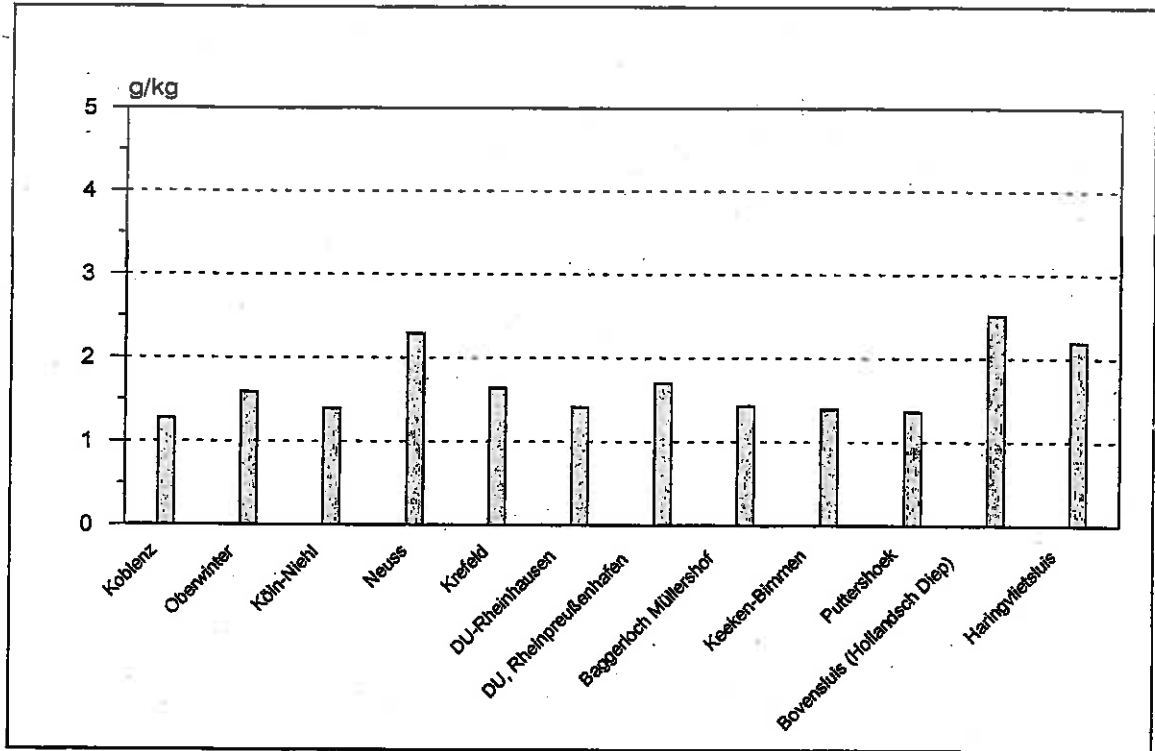
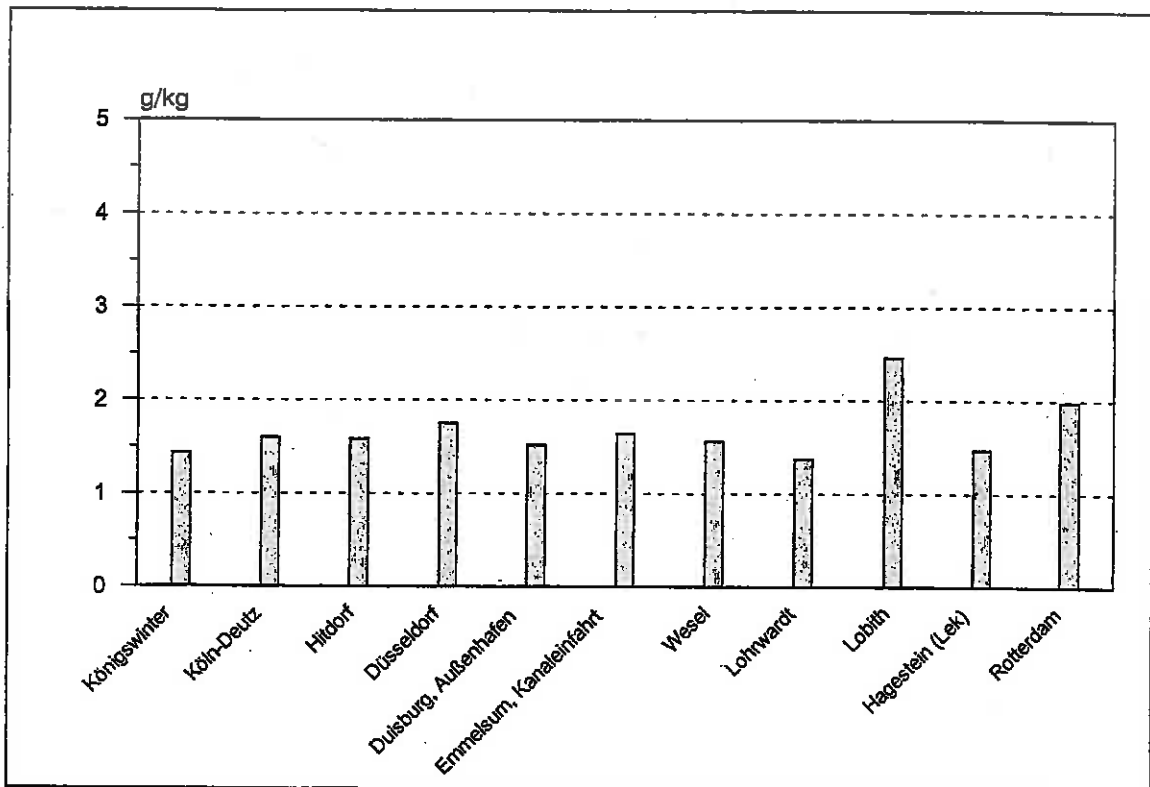


Fig. 3.4.2c : Phosphore total dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.5 Métaux et arsenic

En règle générale, les métaux et l'arsenic sont analysés dans la fraction < 20 µm afin que l'on puisse identifier d'éventuelles contaminations, même lorsque la part de matériau grossier est élevée. Pour cette raison, les résultats d'analyse sont aisément comparables à ceux des analyses des matières en suspension. On procède donc à une comparaison avec les objectifs de référence de la CIPR, comme dans la partie A du présent rapport. Dans une première approche, on suppose que le sédiment récent correspond environ au percentile 90 des résultats de mesure des matières en suspension. Pour une meilleure compréhension, on signalera que l'objectif de référence est défini comme le double du seuil maximum du bruit de fond moyen. Une substance peut être classée dans le 3ème groupe de résultats (objectif de référence atteint ou concentration nettement inférieure à l'objectif de référence) quand la valeur mesurée est inférieure à la moitié de l'objectif de référence.

3.5.1 Plomb

Sur le haut Rhin, les teneurs en plomb se situent autour du bruit de fond de 25-30 mg/kg, à l'exception de la station de mesure de Rheinau, où les échantillons ont été prélevés en décembre 1994 avec des débits croissants ; les teneurs augmentent progressivement en aval de Bâle pour atteindre 46 mg/kg à Gamsheim. A Iffezheim et Speyer, les teneurs sont légèrement inférieures, puis augmentent à plus de 50 mg/kg jusqu'à Coblenz et Königswinter. Sur la rive gauche à partir de Brohl et sur la rive droite en aval de Königswinter, les teneurs en plomb sont soumises à des variations plus importantes et atteignent leur maximum avec 163 mg/kg à Lobith à la frontière germano-néerlandaise. Alors que les teneurs en plomb continuent à augmenter dans le delta méridional à partir de Keeken-Bimmen, elles baissent dans le delta méridional, retombant à 120 mg/kg à Rotterdam.

Pour le haut Rhin et le Rhin supérieur, la comparaison avec l'objectif de référence de 100 mg/kg de la CIPR autorise un classement des substances dans le 3ème groupe de résultats (objectif de référence atteint ou concentration nettement inférieure à l'objectif de référence). A l'exception de la station de Rheinau, les teneurs sont inférieures à la moitié de l'objectif de référence. Dans toutes les autres stations de mesure, les teneurs en plomb sont proches de l'objectif de référence (2ème groupe de résultats).

Fig. 3.5.1a : Plomb dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

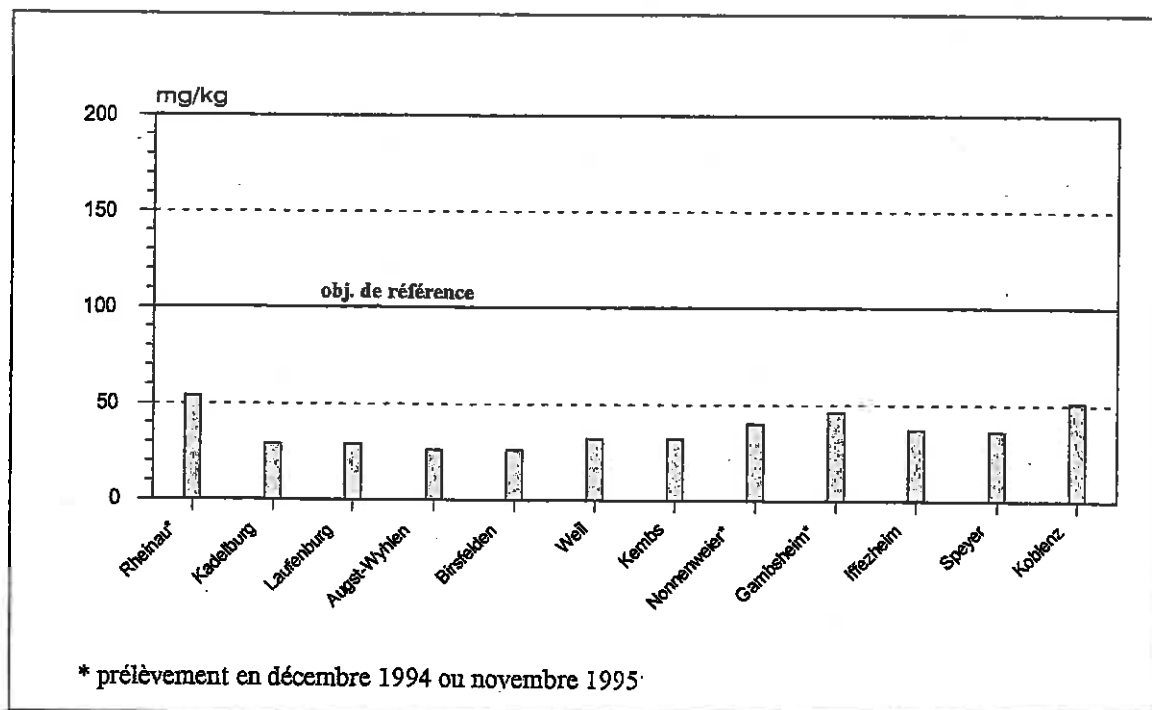


Fig. 3.5.1b : Plomb dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

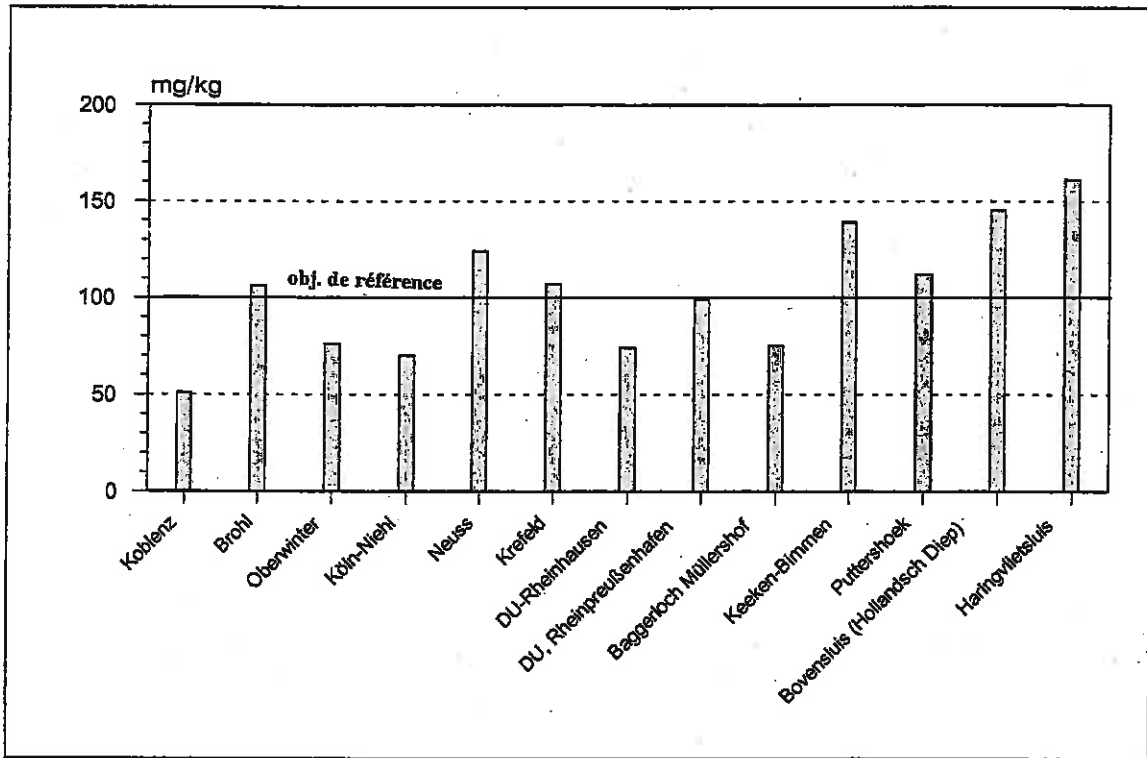
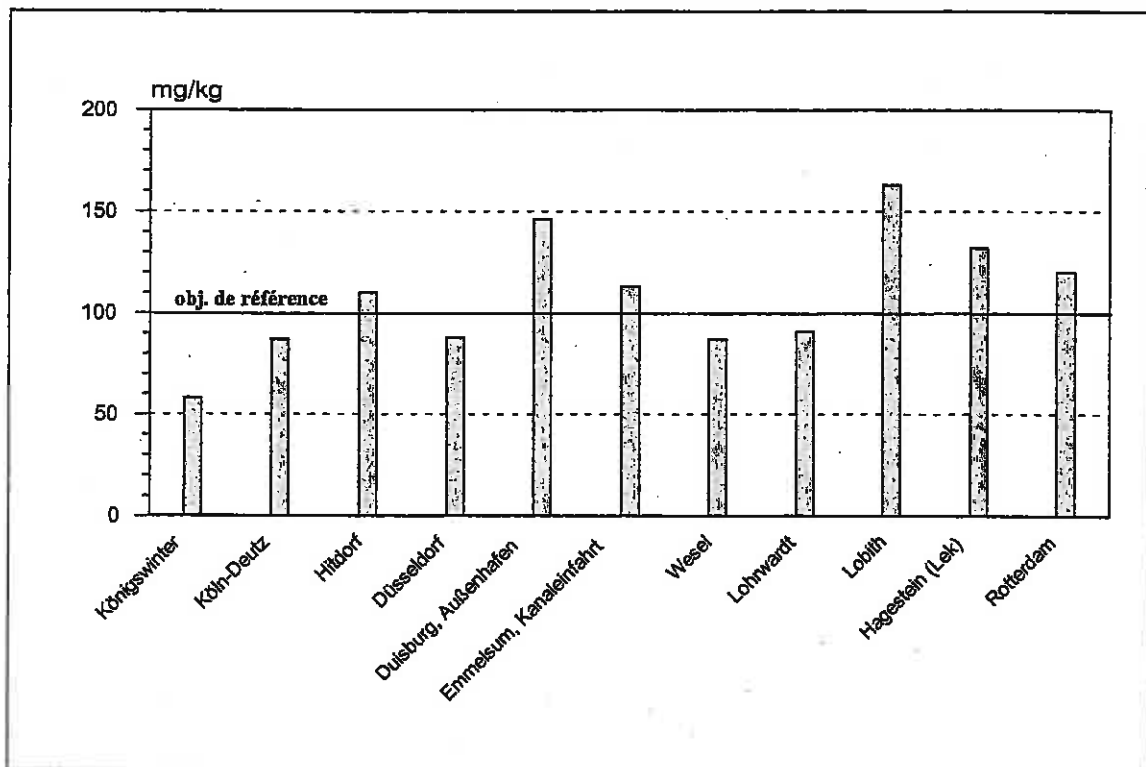


Fig. 3.5.1c : Plomb dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.5.2 Cadmium

Sur le haut Rhin et jusqu'à la station française de Kembs sur le Rhin supérieur, les teneurs en cadmium sont à un niveau faible avec des valeurs oscillant entre 0,3 et 0,4 mg/kg et évoluent dans l'ordre de grandeur du bruit de fond. La station de mesure de Rheinau fait ici exception, ce qui est dû à la date défavorable choisie pour le prélèvement. Plus en aval, les teneurs en cadmium passent à 0,59 mg/kg jusqu'à Gamsheim et baissent ensuite pour atteindre 0,4 mg/kg à Speyer. A partir de Coblenz sur la rive gauche, les teneurs augmentent constamment, avec 2,2 mg/kg à Keeken-Bimmen dans le delta méridional ; on note une hausse sensible dans le Hollandsch Diep avec une valeur de 6,6 mg/kg à Bovensluis. Sur la rive droite par contre, les variations sont plus importantes. C'est ici, à hauteur du Duisburger Außenhafen, que se trouve le centre de contamination avec une teneur en cadmium de 10,4 mg/kg. Les teneurs tombent ensuite à 1,0 mg/kg jusqu'à la station internationale de Lohrwardt mais retrouvent un niveau élevé avec 5,3 mg/kg à la frontière germano-néerlandaise. Par contre, dans le delta septentrional, les concentrations de cadmium varient entre 2 et 3 mg/kg.

A l'exception de la station de mesure de Gamsheim où la teneur en cadmium est proche de l'objectif de référence de la CIPR de 1 mg/kg, ce dernier est respecté sur l'ensemble du haut Rhin et du Rhin supérieur (3ème groupe de résultats). Entre Coblenz et la gravière de Müllershof, les teneurs en cadmium mesurées sur la rive gauche sont proches de l'objectif de référence (2ème groupe de résultats), alors que l'objectif de référence est encore nettement dépassé à Keeken-Bimmen et dans le delta méridional (1er groupe de résultats). Sur la rive droite du Rhin moyen et du Rhin inférieur, les teneurs en cadmium mesurées de Königswinter à Düsseldorf ainsi qu'à Lohrwardt sont proches de l'objectif de référence, alors que celles mesurées du Duisburger Außenhafen à Wesel et à partir de Lobith dépassent en partie très nettement l'objectif de référence.

Fig. 3.5.2a : Cadmium dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

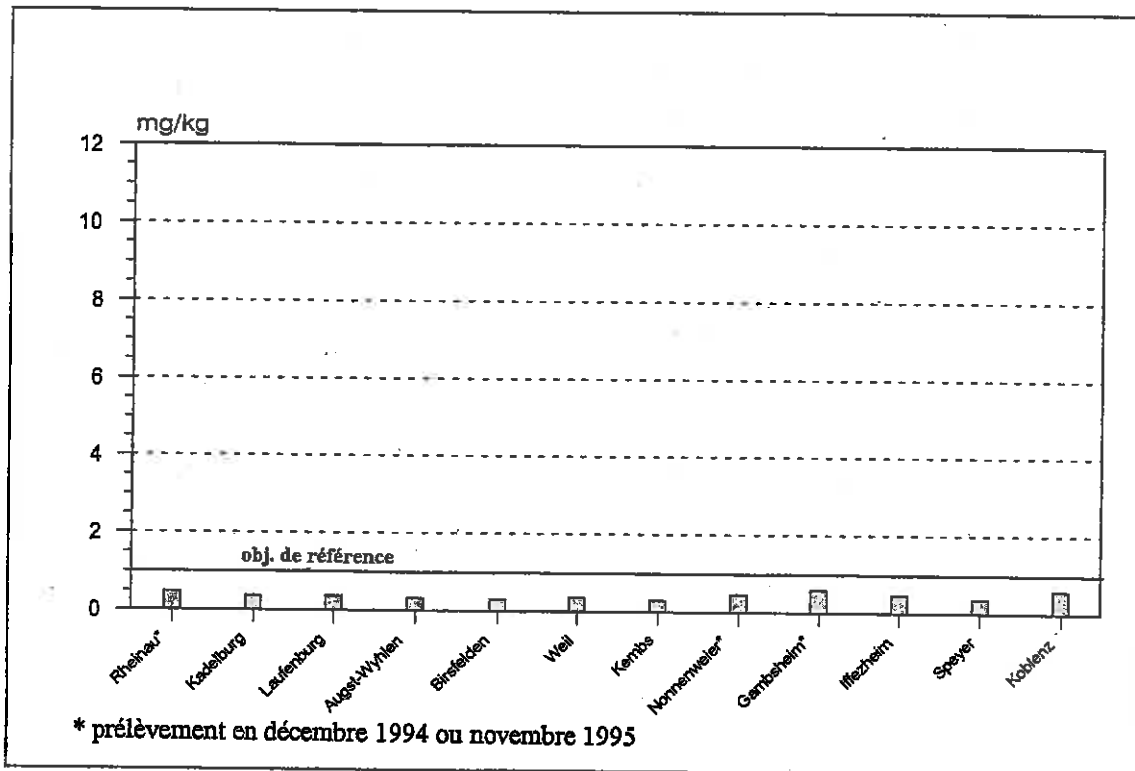


Fig. 3.5.2b : Cadmium dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

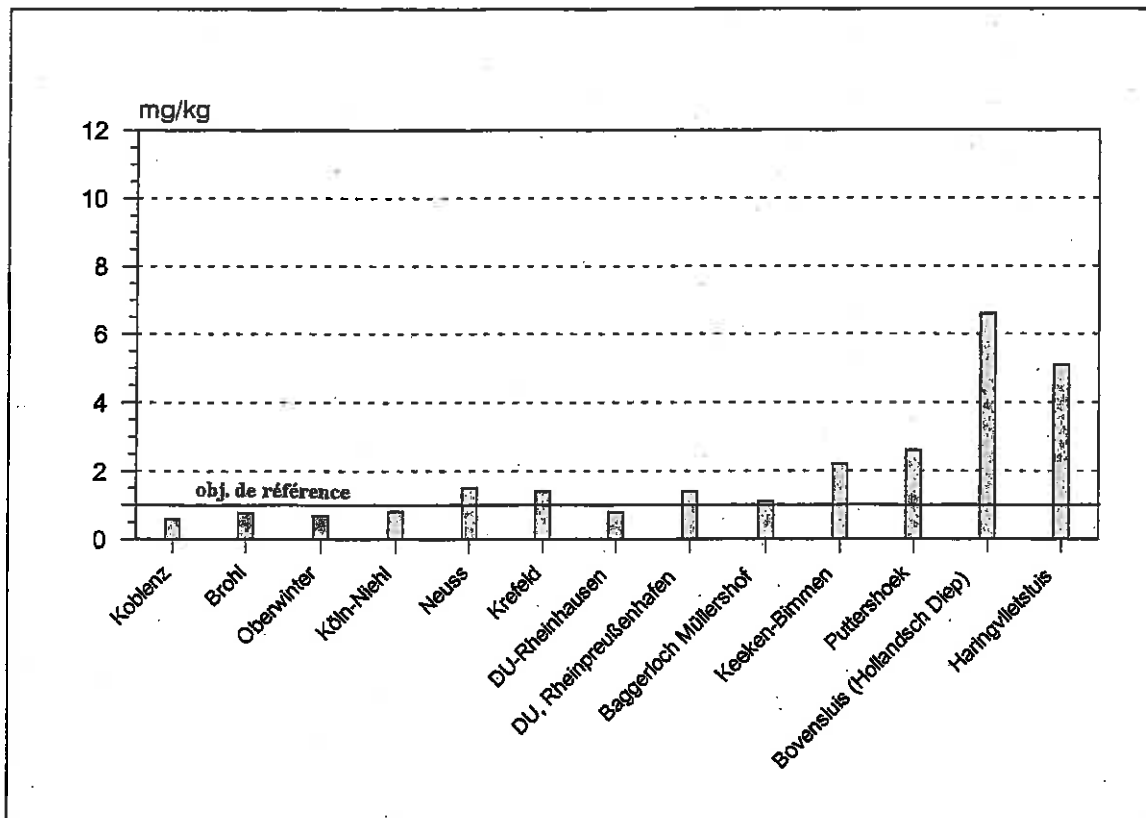
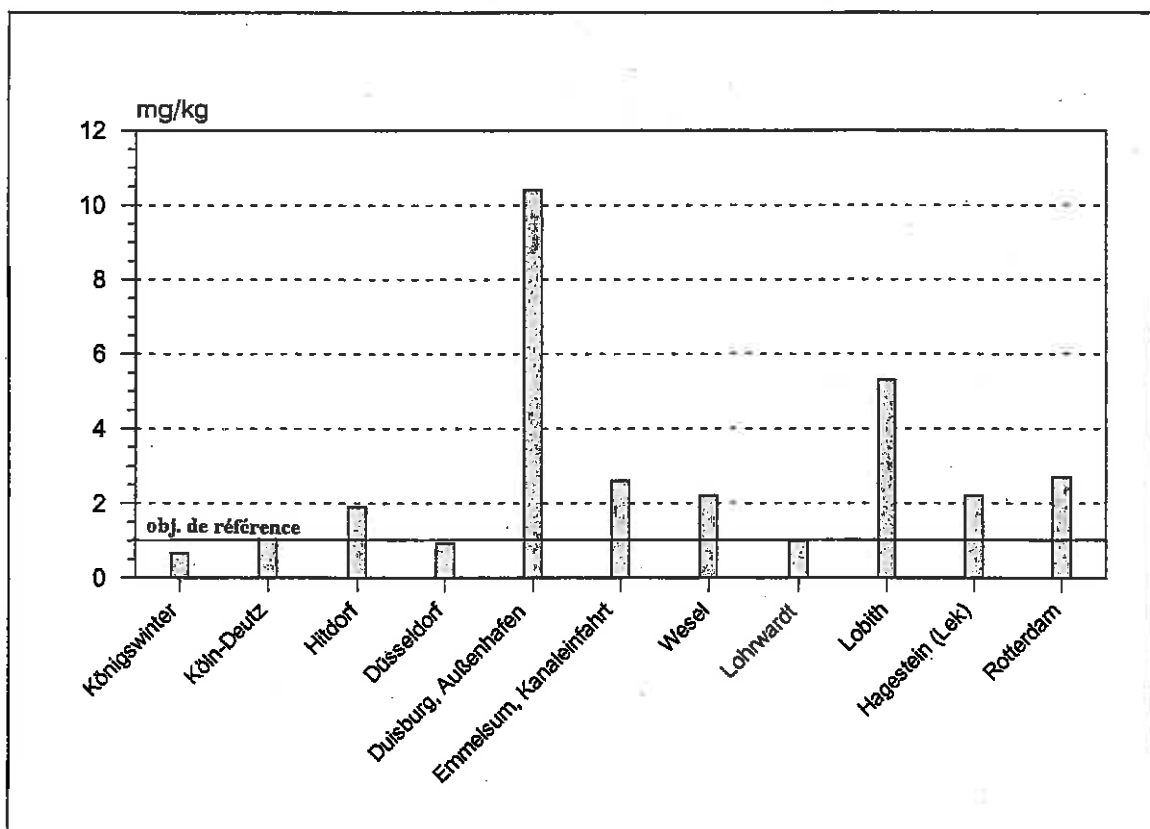


Fig. 3.5.2c : Cadmium dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.5.3 Chrome

Pour le chrome, il faut tout d'abord mentionner que les résultats dépendent de la méthode d'analyse utilisée, étant donné que le chrome n'est pas complètement minéralisé par l'eau régale. Les teneurs déterminées à partir des valeurs moyennes des laboratoires concernés dans les stations internationales de mesure du haut Rhin et du Rhin supérieur sont donc inférieures aux teneurs déterminées par analyse par fluorescence X (AFX) dans les stations de mesure nationales.

Avec 40 mg/kg, la teneur en chrome la plus faible a été mesurée dans la station de Rheinau, qui n'est toutefois comparable aux autres que dans une certaine mesure (le bruit de fond moyen varie entre 25 et 50 mg/kg). Les teneurs en chrome, de 81 mg/kg à Kadelburg (AFX) passent à moins de 50 mg/kg jusqu'à la station internationale d'Augst-Wyhlen et se situent autour de 60 mg/kg sur le cours du haut Rhin et du Rhin supérieur. Seules les stations de mesure de Kembs (AFX) et d'Iffezheim accusent des valeurs légèrement supérieures avec 73 mg/kg. A partir de Coblenz, les concentrations augmentent constamment sur la rive gauche et atteignent leur maximum sur cette rive à Krefeld avec 188 mg/kg. Plus en aval, les teneurs varient entre 100 et 150 mg/kg jusqu'à Haringvlietsluis dans le delta méridional. Dans la plupart des stations de la rive droite et dans le delta septentrional, les teneurs en chrome ne sont soumises qu'à de légères variations entre 120 et 160 mg/kg. Y font exception la station internationale de Lohrwardt avec 97 mg/kg et, comme pour le cadmium, le centre de pollution du Duisburger Außenhafen avec 289 mg/kg.

Vu le bruit de fond relativement élevé pour le chrome, les concentrations ne sont nettement inférieures à l'objectif de référence de la CIPR de 100 mg/kg que dans les stations de mesure de Rheinau et d'Augst-Wyhlen (3ème groupe de résultats). Le Duisburger Außenhafen est la seule station où l'objectif de référence est nettement dépassé (1er groupe de résultats). Dans toutes les autres stations, les teneurs en chrome sont proches de l'objectif de référence (2ème groupe de résultats).

Fig. 3.5.3a : Chrome dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

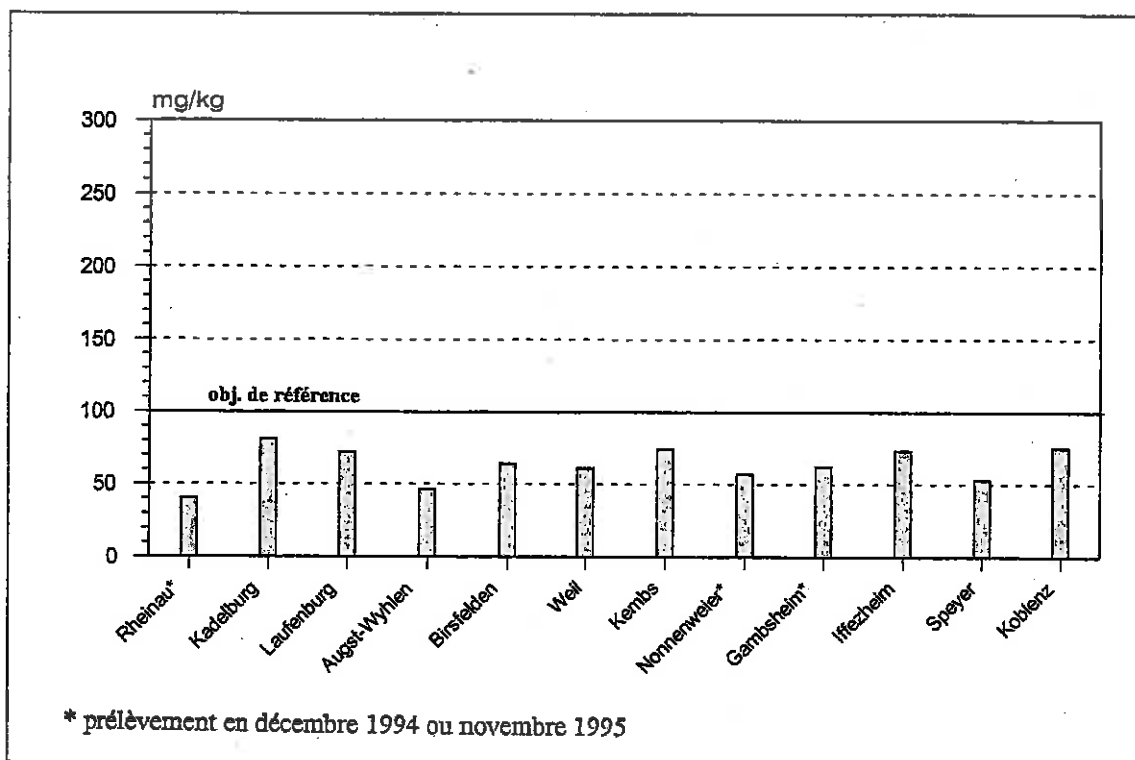


Fig. 3.5.3b : Chrome dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

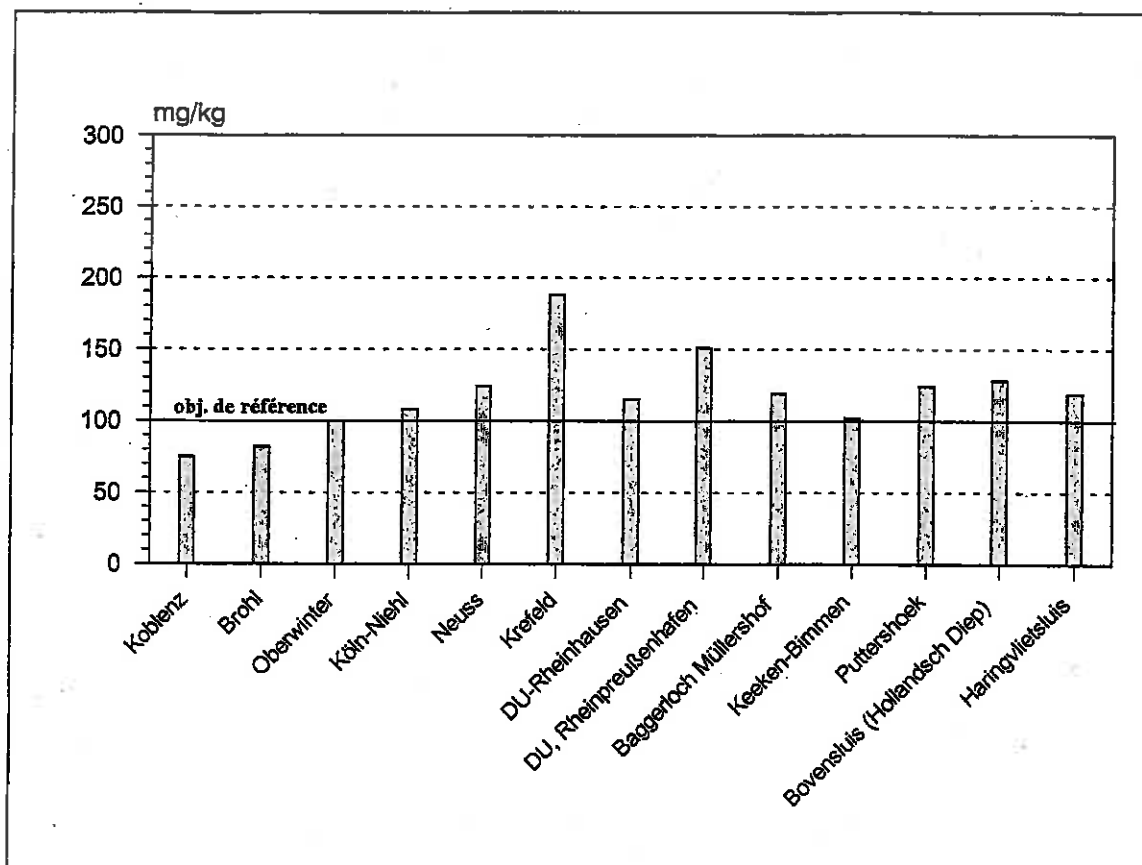
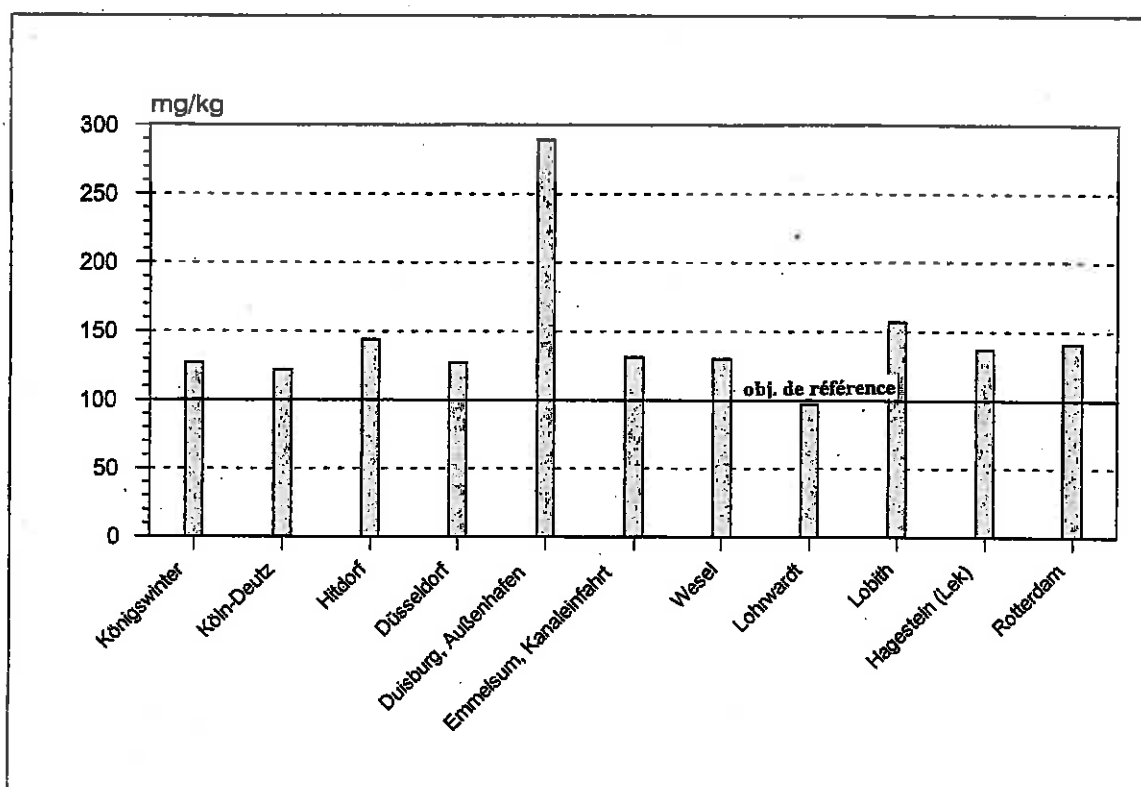


Fig. 3.5.3c : Chrome dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.5.4 Cuivre

Les teneurs en cuivre varient dans la marge du bruit de fond, qui est de 30 à 40 mg/kg, jusqu'à Kembs ; les valeurs atteignent ensuite 60 mg/kg jusqu'à Speyer et Coblenz. Par la suite, tout le long de la rive gauche du Rhin moyen et du Rhin inférieur ainsi que dans le delta méridional, de légères variations entre 50 et 90 mg/kg apparaissent et la tendance est à la hausse vers l'embouchure. Sur la rive droite du Rhin inférieur, on note parfois des concentrations assez élevées, p.ex. à Hitdorf avec 100 mg/kg, au Duisburger Außenhafen avec 144 mg/kg et à Lobith avec 113 mg/kg. Les autres stations de mesure situées sur la rive droite et dans le delta septentrional présentent les mêmes concentrations que sur la rive gauche.

Par rapport à l'objectif de référence de 50 mg/kg fixé par la CIPR, les concentrations de cuivre ne sont, à proprement parler, suffisamment basses dans aucune station pour qu'il soit possible de les classer dans le 3ème groupe de résultats. Exception faite des stations du Duisburger Außenhafen et de Lobith, qui doivent être classées dans le 1er groupe de résultats, les teneurs en cuivre sont proches de l'objectif de référence (2ème groupe de résultats).

Fig. 3.5.4a : Cuivre dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

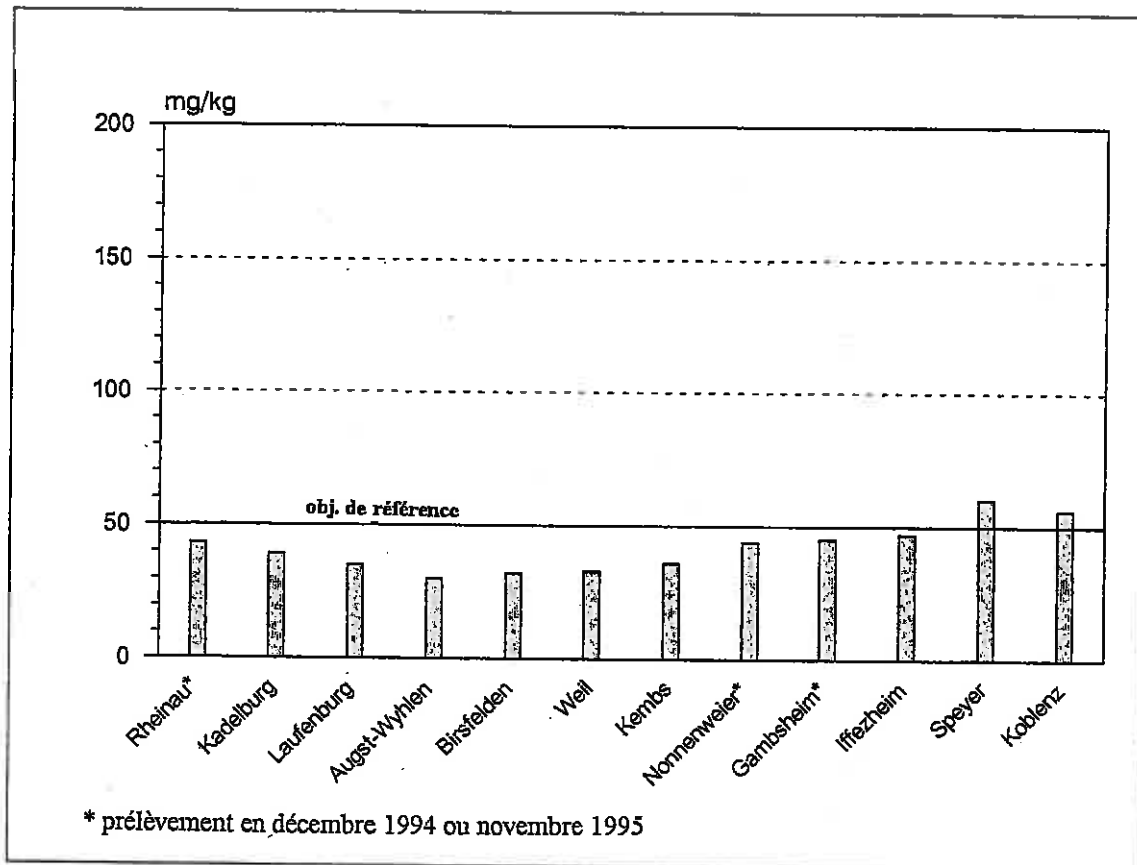


Fig. 3.5.4b : Cuivre dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

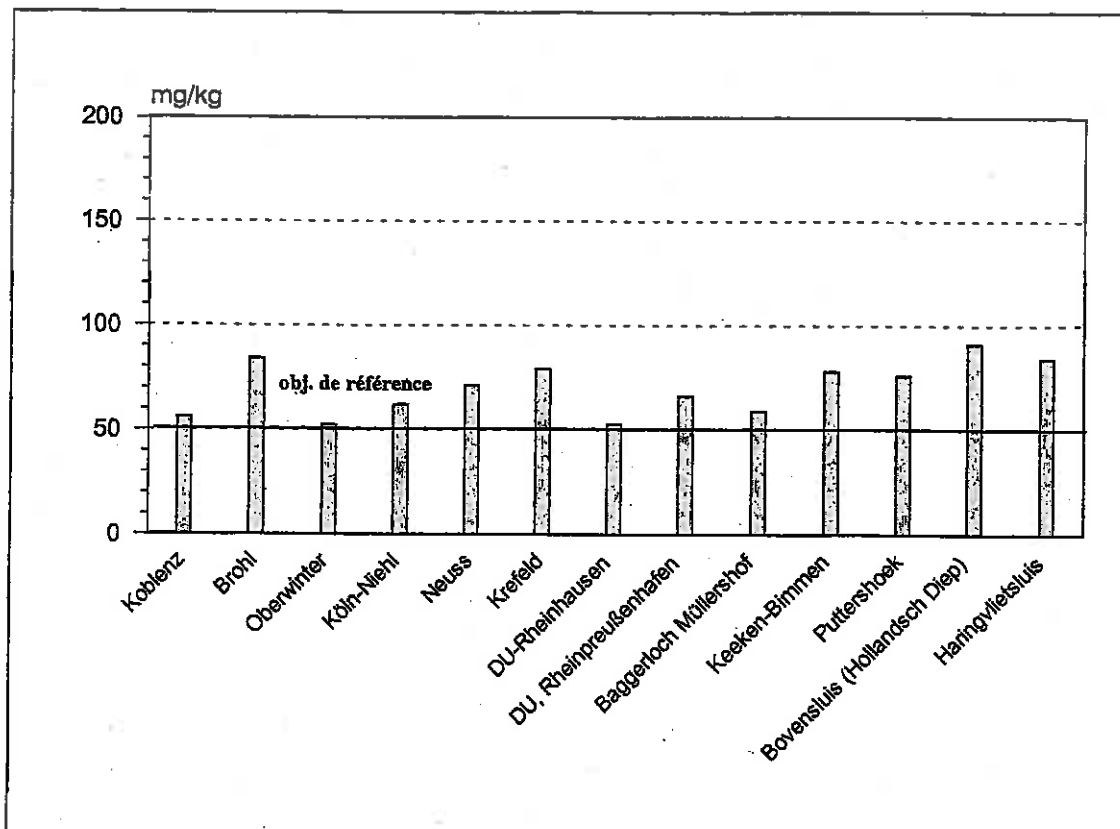
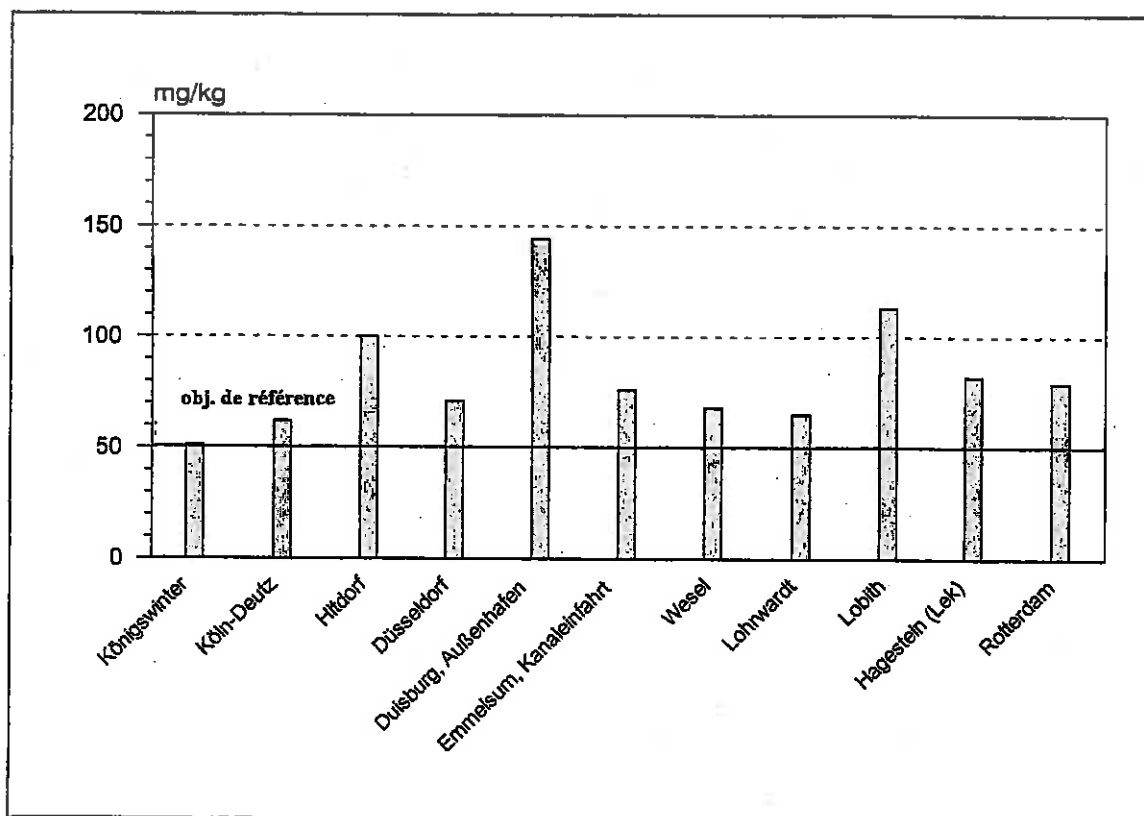


Fig. 3.5.4c : Cuivre dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.5.5 Nickel

Les teneurs en nickel ne subissent que de légères variations sur l'ensemble du Rhin. Partant de 54 mg/kg à Rheinau, où les échantillons ont été prélevés en décembre 1994, les teneurs oscillent entre 30 et 40 mg/kg (ordre de grandeur du bruit de fond) de Kadelburg sur le haut Rhin à Kembs sur le Rhin supérieur. Des teneurs en nickel légèrement supérieures, atteignant 62 mg/kg, sont mesurées dans les stations de Nonnenweiler et Gamsbheim sur le Rhin supérieur, alors que les stations de mesure situées plus en aval à Iffezheim, Coblenche et Brohl accusent des teneurs en nickel de 41 mg/kg. A partir d'Oberwinter, les concentrations de nickel passent à 50 mg/kg sur les deux rives jusqu'à l'embouchure, à l'exception des stations de Neuss et Krefeld situées sur la rive gauche du Rhin et plus fortement contaminées par les apports de l'Erft.

Sur l'ensemble du cours du Rhin, les teneurs en nickel sont sans exception proches de l'objectif de référence de la CIPR de 50 mg/kg (2ème groupe de résultats).

Fig. 3.5.5a : Nickel dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenche

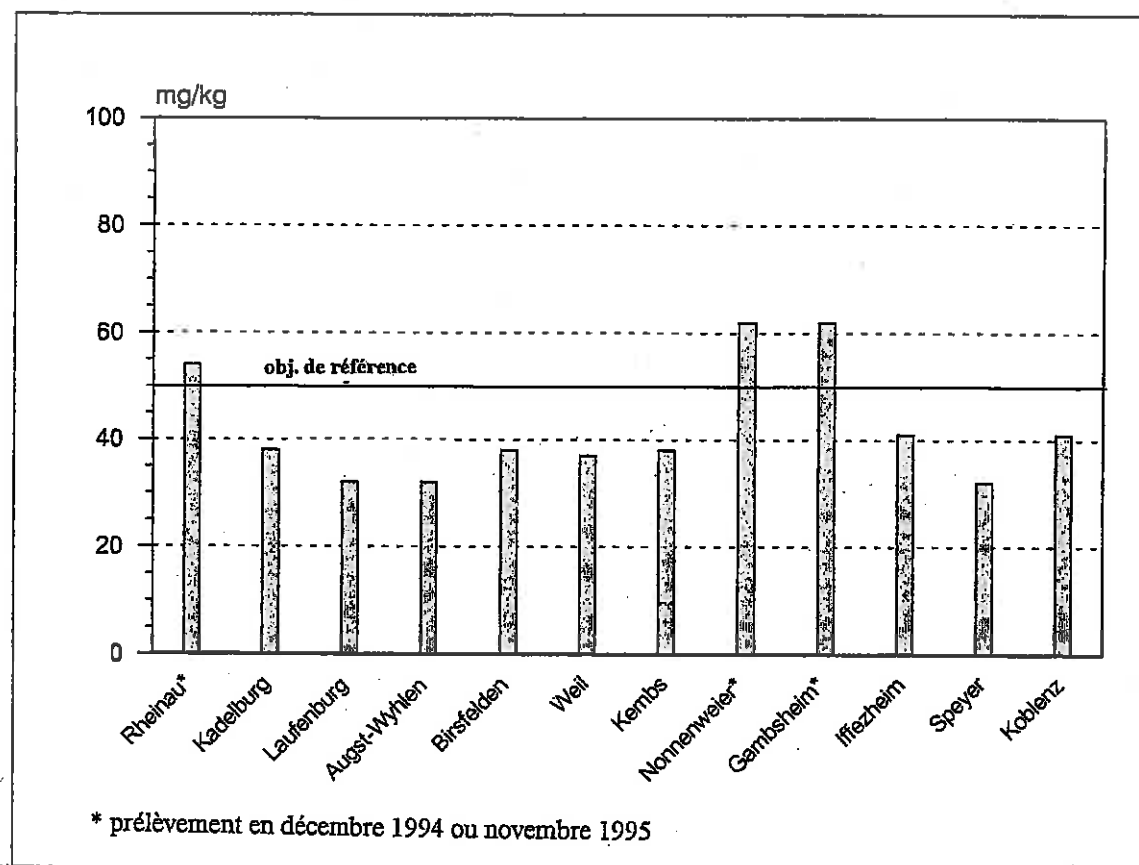


Fig. 3.5.5b : Nickel dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

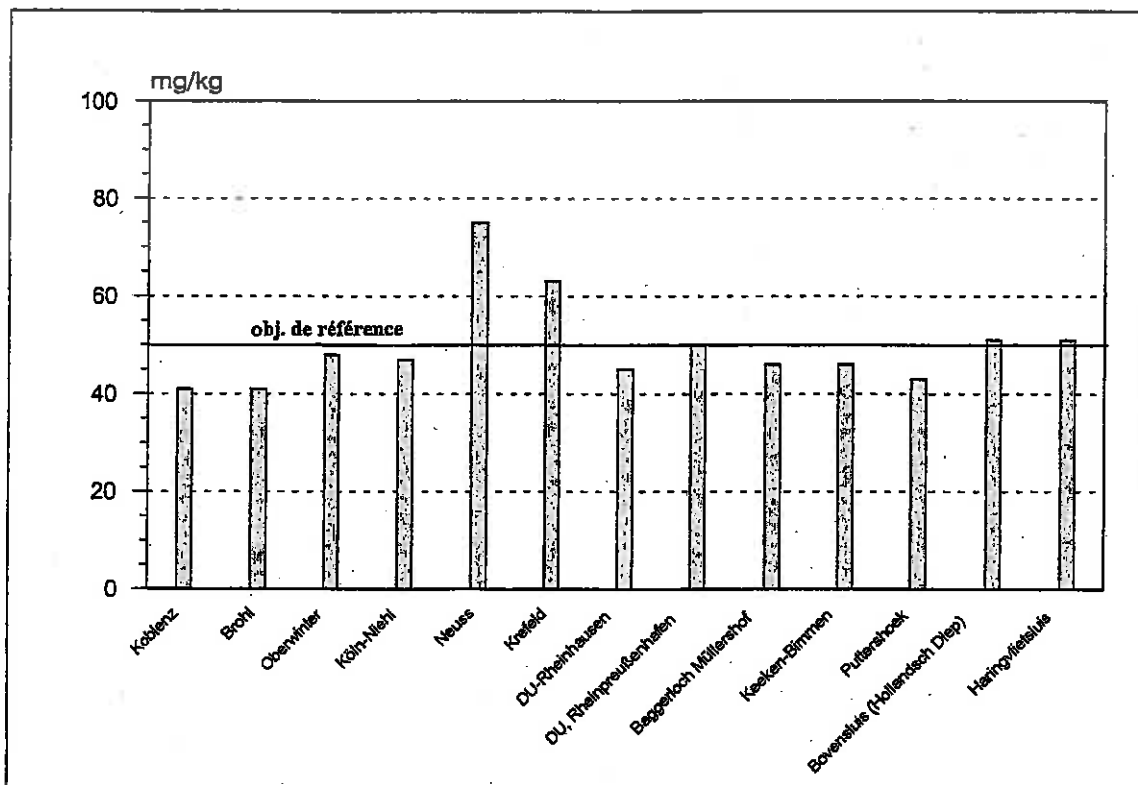
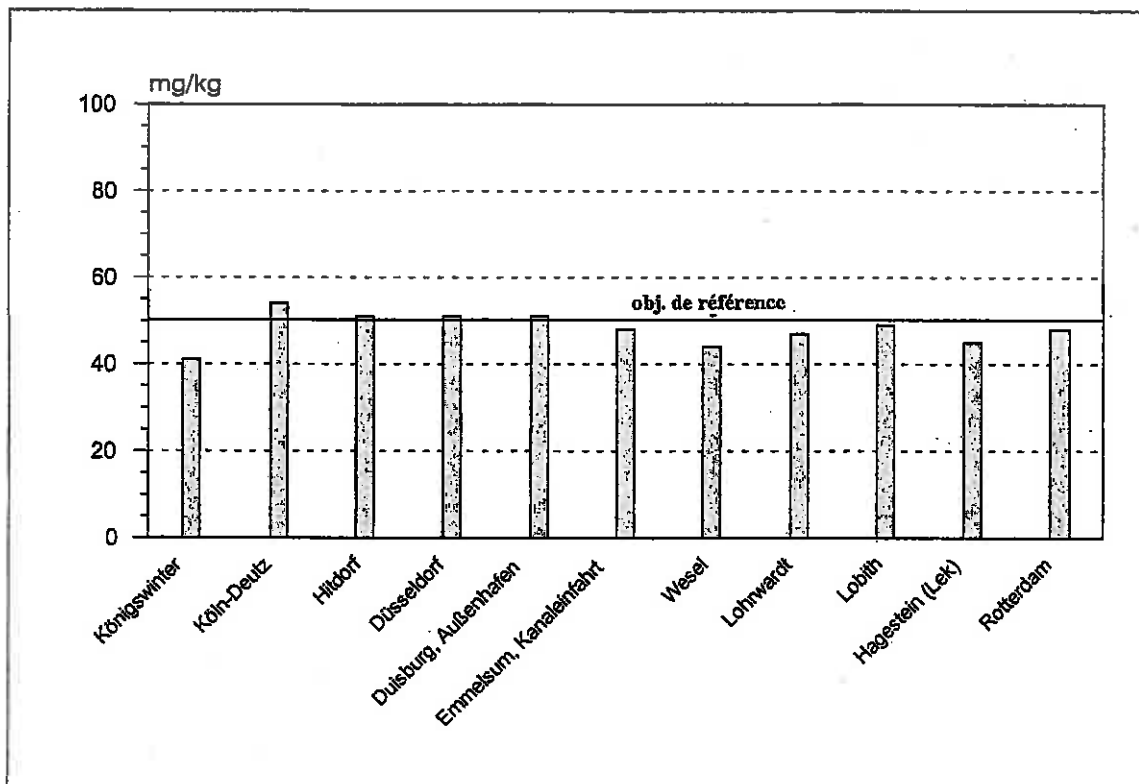


Fig. 3.5.5c : Nickel dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.5.6 Mercure

Entre Rheinau et Kembs, les teneurs en mercure sont de l'ordre du bruit de fond, c'est-à-dire entre 0,14 et 0,30 mg/kg. Elles augmentent ensuite, atteignant 0,50 mg/kg à Gamsheim, puis retombent ensuite à un niveau plus faible entre Iffezheim et Coblenz. Après une valeur relativement élevée de 0,65 mg/kg à hauteur de Brohl, les teneurs en mercure mesurées sur la rive gauche suivent une progression continue, passant de 0,28 mg/kg à Oberwinter à 1,0 mg/kg à Keeken-Bimmen. Dans le delta méridional, les teneurs continuent leur progression pour atteindre 1,4 mg/kg à Haringvlietsluis. Sur la rive droite, les teneurs en mercure restent jusqu'à Cologne au niveau d'Iffezheim et de Coblenz. C'est à Hitdorf que l'on observe la valeur maximale de 2,4 mg/kg, qui est due notamment aux apports de la Wupper. Plus en aval, les concentrations accusent une légère tendance à la hausse de Düsseldorf à Lohrwardt avec des valeurs variant entre 0,5 et 0,7 mg/kg ; elles atteignent un maximum à Lobith avec 2,0 mg/kg, alors qu'elles retombent à 1,2 mg/kg à hauteur de Rotterdam dans le delta septentrional.

Sur le haut Rhin et le Rhin supérieur jusqu'à Kembs, la comparaison avec l'objectif de référence de la CIPR de 0,5 mg/kg montre que les valeurs peuvent être classées dans le 3ème groupe de résultats (objectif de référence atteint). Y font exception les stations de mesure de Rheinau et d'Augst-Wyhlen avec des valeurs légèrement supérieures (2ème groupe de résultats). Les valeurs mesurées de Nonnenweier sur le Rhin supérieur à Keeken-Bimmen sur la rive gauche du Rhin inférieur et Lohrwardt sur la rive droite sont également proches de l'objectif de référence, à l'exception du centre de pollution d'Hitdorf en aval de l'embouchure de la Wupper à Leverkusen. A Lobith, ainsi que sur l'ensemble de la zone deltaïque, l'objectif de référence est nettement dépassé (1er groupe de résultats).

Fig. 3.5.6a : Mercure dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

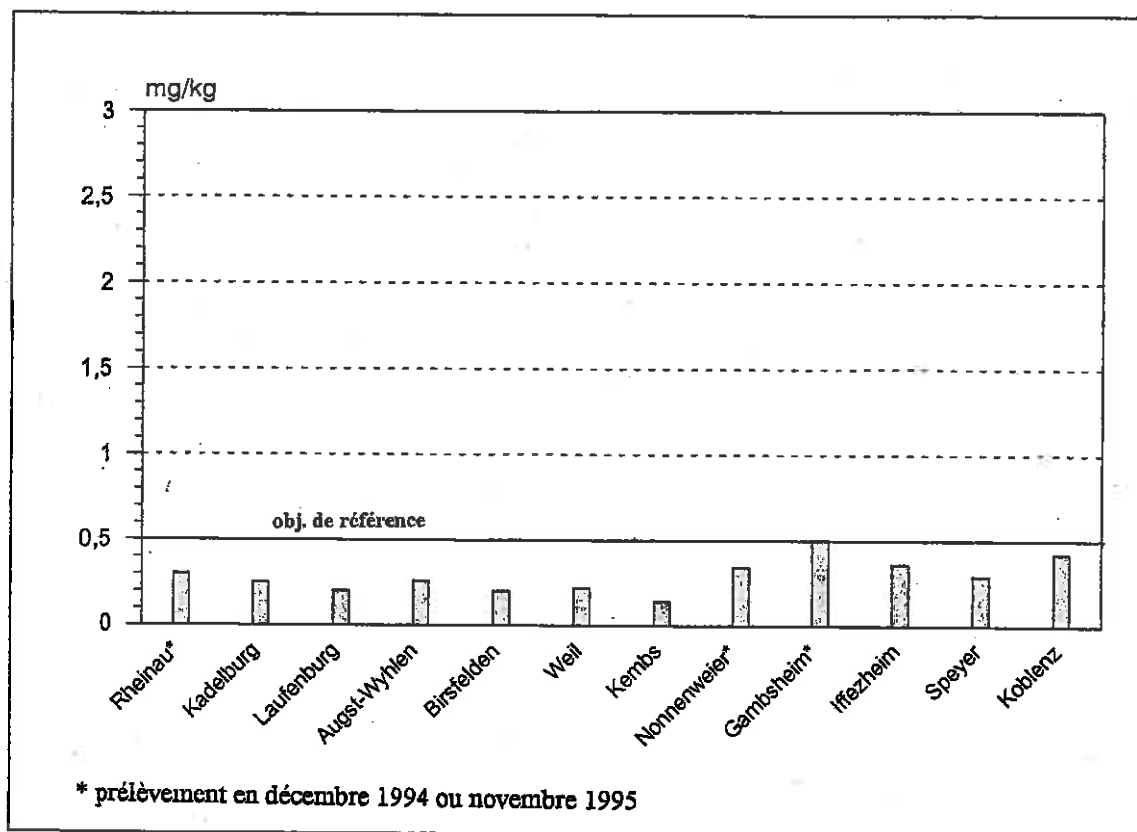


Fig. 3.5.6b : Mercure dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

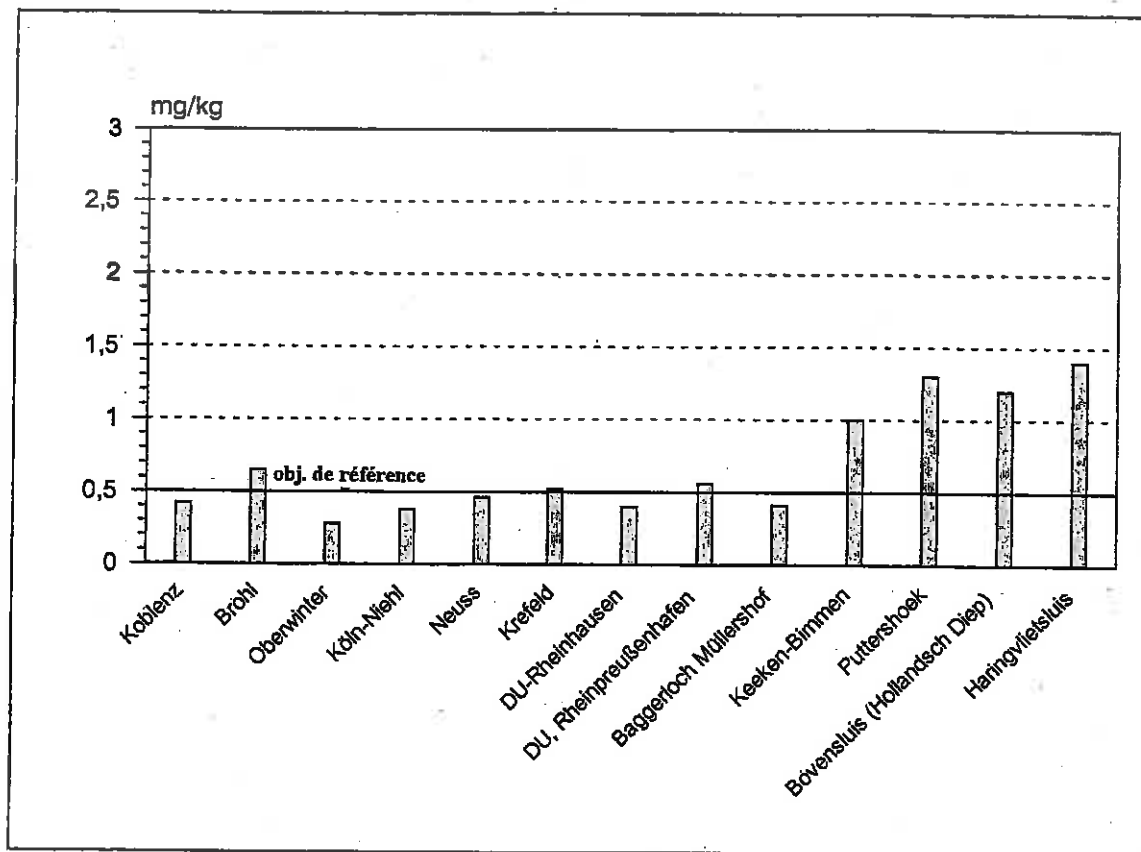
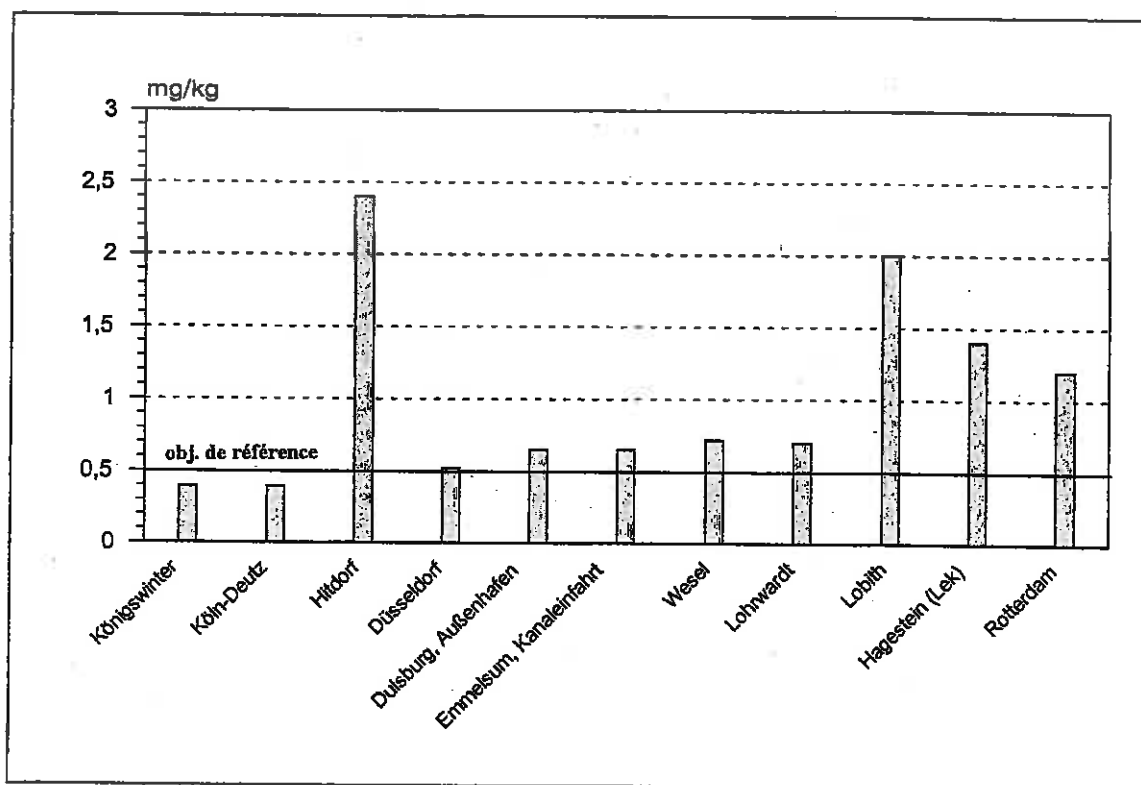


Fig. 3.5.6c : Mercure dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.5.7 Zinc

A l'exception de la station de mesure de Rheinau (345 mg/kg), les teneurs en zinc mesurées de Kadelburg sur le haut Rhin à Kembs sur le Rhin supérieur se situent autour de 100 mg/kg et sont donc de l'ordre du bruit de fond. A partir de Nonnenweiler, la limite des 200 mg/kg est dépassée, sauf à Iffezheim ; en aval de Cologne, les teneurs se situent le plus souvent autour de 400 mg/kg. A l'exception de Lobith à la frontière germano-néerlandaise, les deux autres centres de pollution sont Brohl sur la rive gauche du Rhin inférieur avec 609 mg/kg et, comme pour les éléments cadmium, chrome et cuivre, la station du Duisburger Außenhafen avec 1220 mg/kg. Dans le Hollandsch Diep et à Haringvliet (delta méridional), les teneurs en zinc sont également élevées, alors que les valeurs observées dans le delta septentrional sont similaires à celles constatées dans la plupart des stations du Rhin inférieur.

A proprement parler, l'objectif de référence de la CIPR pour le zinc n'est atteint que dans une seule station, à savoir à Birsfelden sur le haut Rhin. Entre Rheinau et Coblenz, les teneurs en zinc sont proches de l'objectif de référence dans toutes les autres stations (2ème groupe de résultats). Ceci est également le cas pour les stations d'Oberwinter, de Köln-Niehl, de Duisburg-Rheinhausen et de la gravière de Müllershof sur la rive gauche du Rhin moyen et du Rhin inférieur, ainsi que pour les tronçons de Königswinter à Düsseldorf et de Wesel à Lohrwardt sur la rive droite. Toutes les autres stations de mesure doivent encore être classées dans le 1er groupe de résultats – objectif de référence très fortement dépassé.

Fig. 3.5.7a : Zinc dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

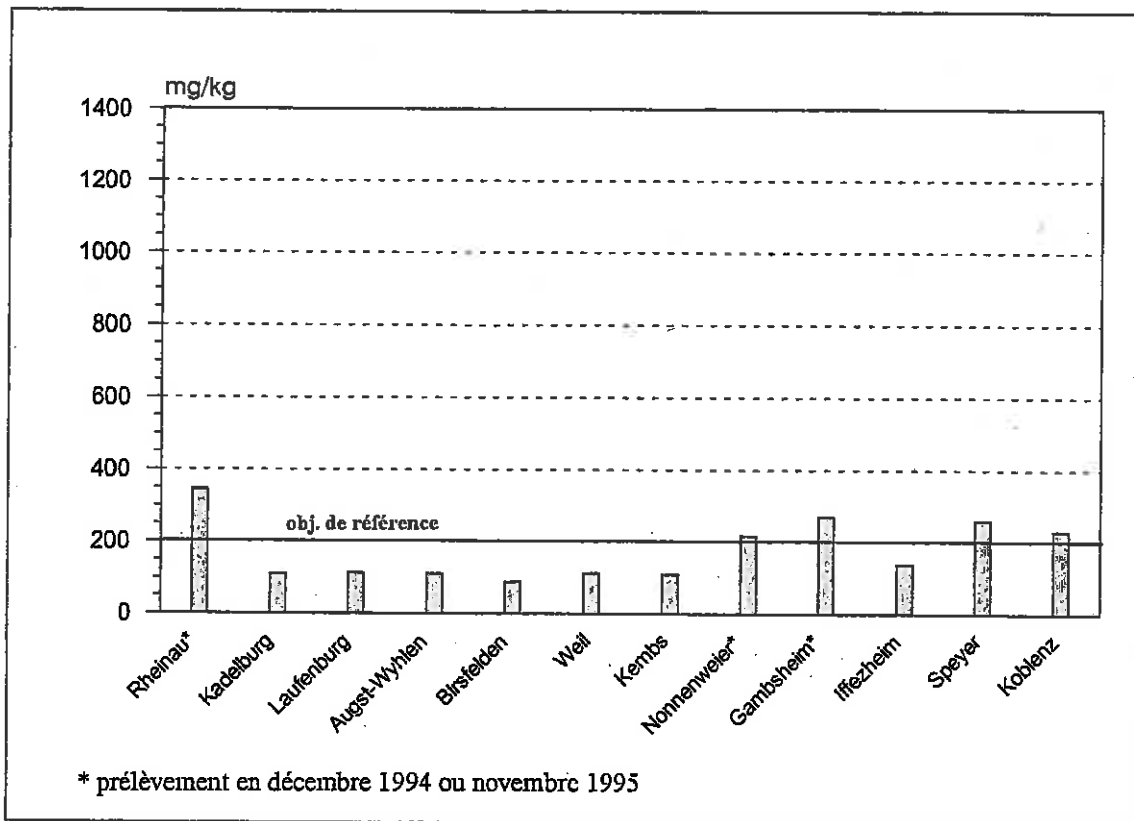


Fig. 3.5.7b : Zinc dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

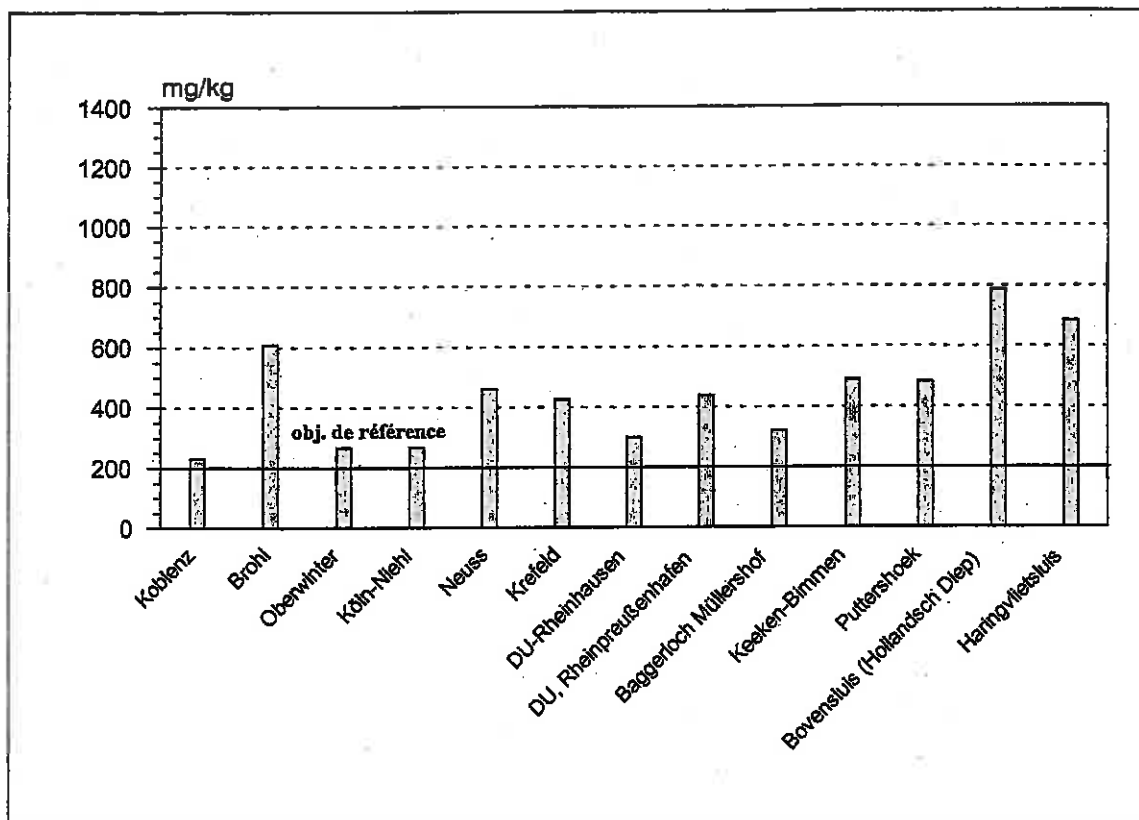
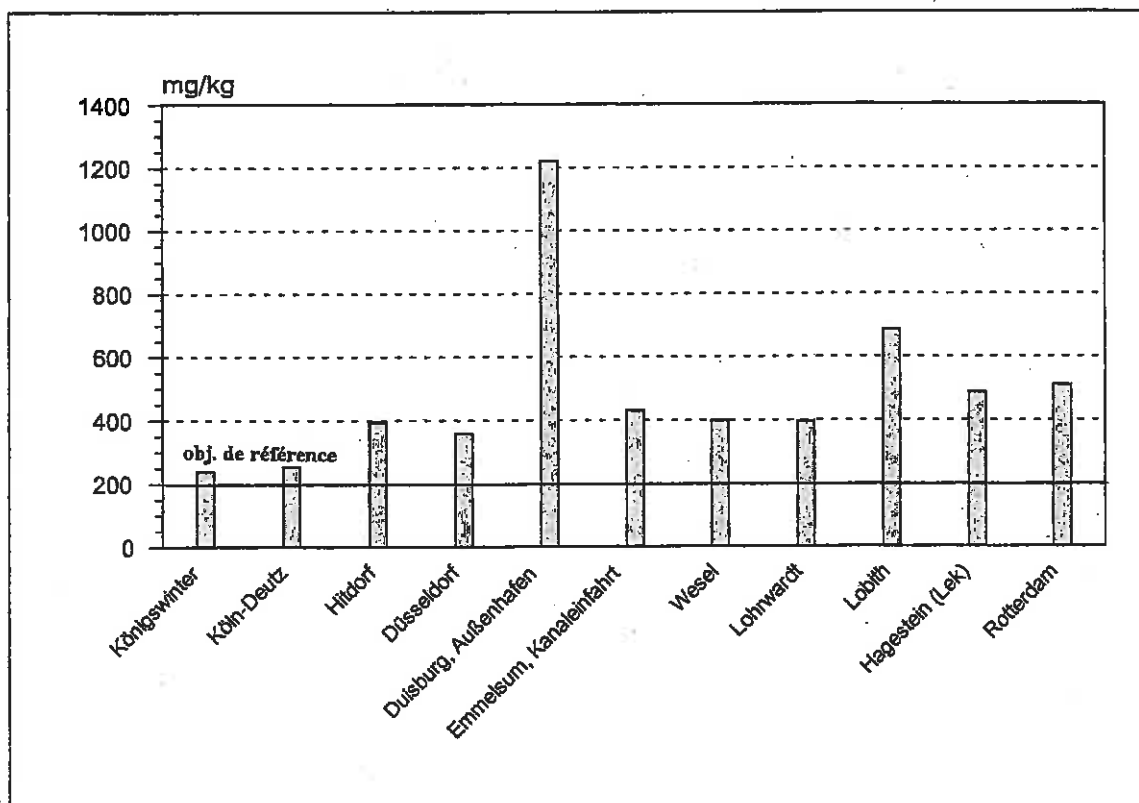


Fig. 3.5.7c : Zinc dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.5.8 Arsenic

Dans le haut Rhin et le Rhin supérieur jusqu'à Kembs, les teneurs en arsenic sont d'environ 10 mg/kg ; elles augmentent ensuite à partir de Nonnenweiler pour atteindre une valeur de 15 mg/kg à la frontière du Land de Rhénanie-du-Nord-Westphalie. Elles passent à 20 mg/kg jusqu'à Neuss sur la rive gauche et jusqu'à la gravière de Müllershof. A partir de Keeken-Bimmen et plus en aval dans le delta méridional, les teneurs en arsenic sont de l'ordre de 25 mg/kg. Sur la rive droite, on observe tout d'abord une augmentation des valeurs, qui passent de 15 mg/kg à 25 mg/kg entre Königswinter et Hitdorf, puis une légère baisse jusqu'à Lohrwardt. C'est dans la station de mesure de Lobith que l'on enregistre la teneur en arsenic la plus élevée avec 30 mg/kg, alors que les valeurs mesurées dans le delta septentrional sont analogues à celles du delta méridional.

L'objectif de référence de la CIPR fixé à 40 mg/kg pour l'arsenic est respecté (3ème groupe de résultats) entre le haut Rhin et les stations de mesure de Cologne. Ceci est également le cas dans les stations de mesure de Düsseldorf, Krefeld, Duisburg-Rheinhausen, Wesel, Lohrwardt et de la gravière de Müllershof situées sur le Rhin inférieur. Toutes les autres stations de mesure du Rhin inférieur et l'ensemble de la zone deltaïque accusent des valeurs proches de l'objectif de référence (2ème groupe de résultats).

Fig. 3.5.8a : Arsenic dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

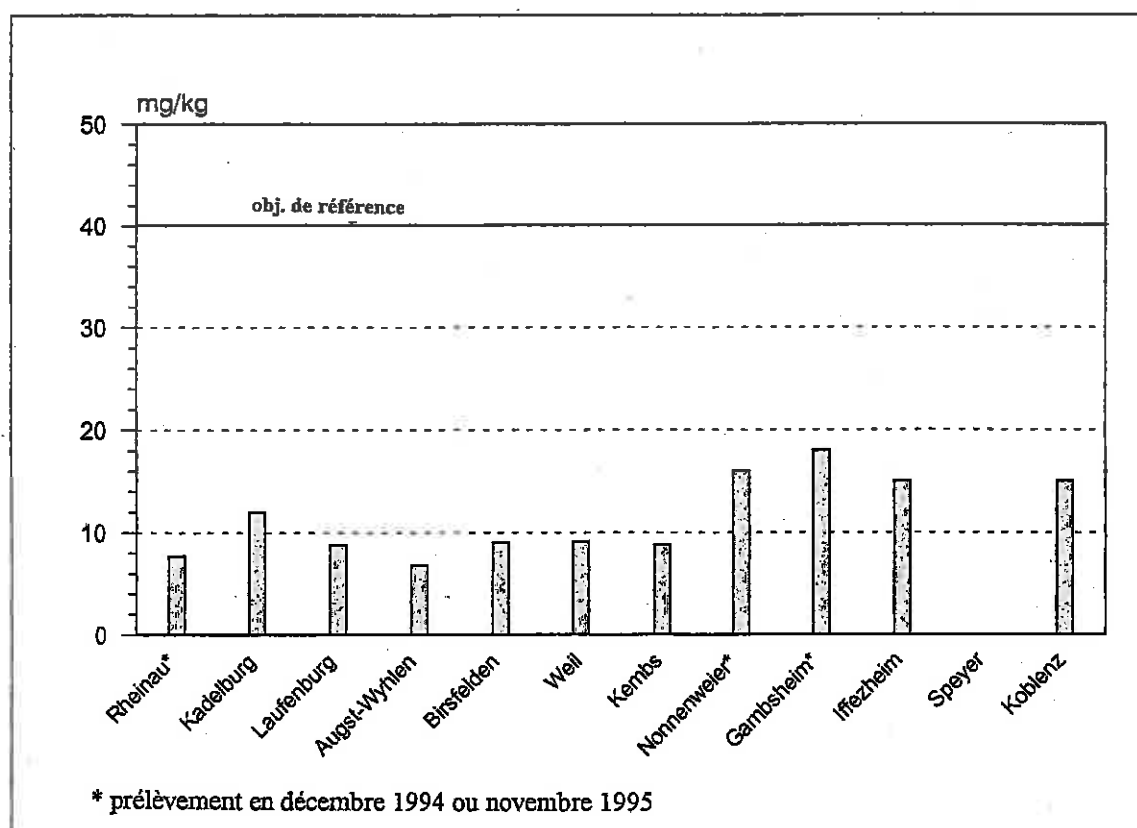


Fig. 3.5.8b : Arsenic dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

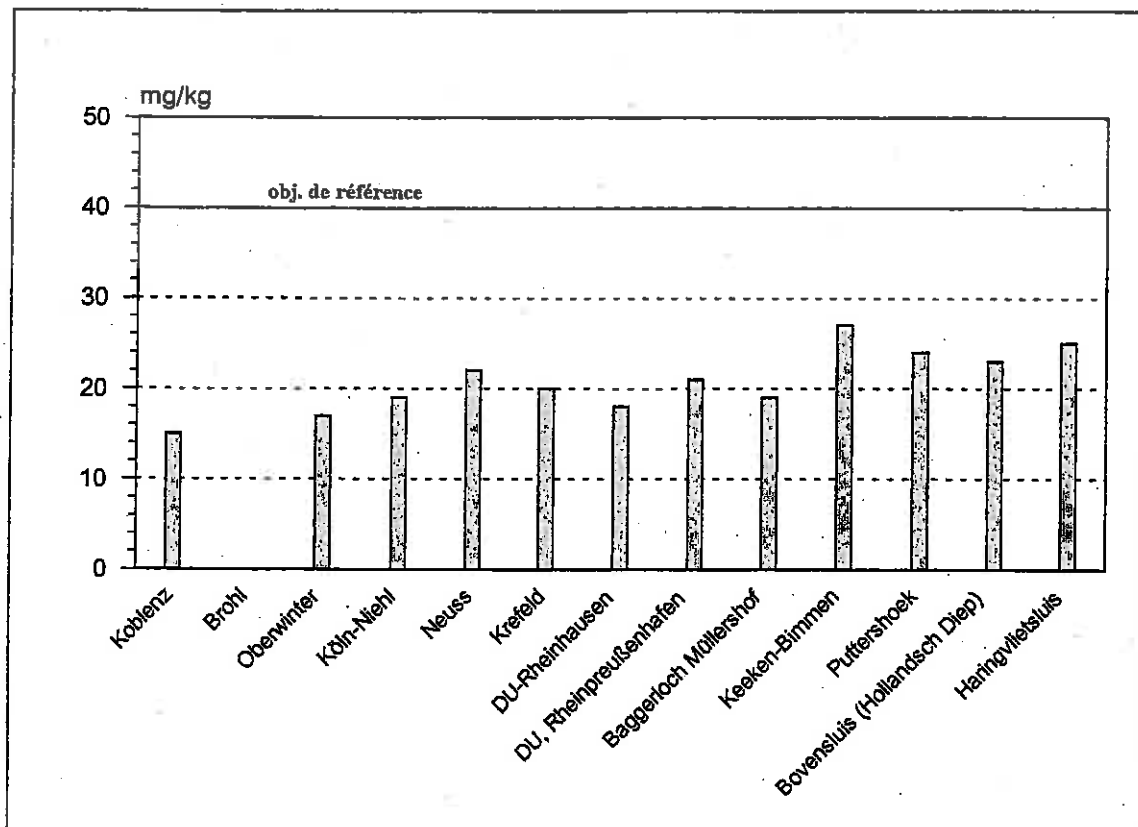
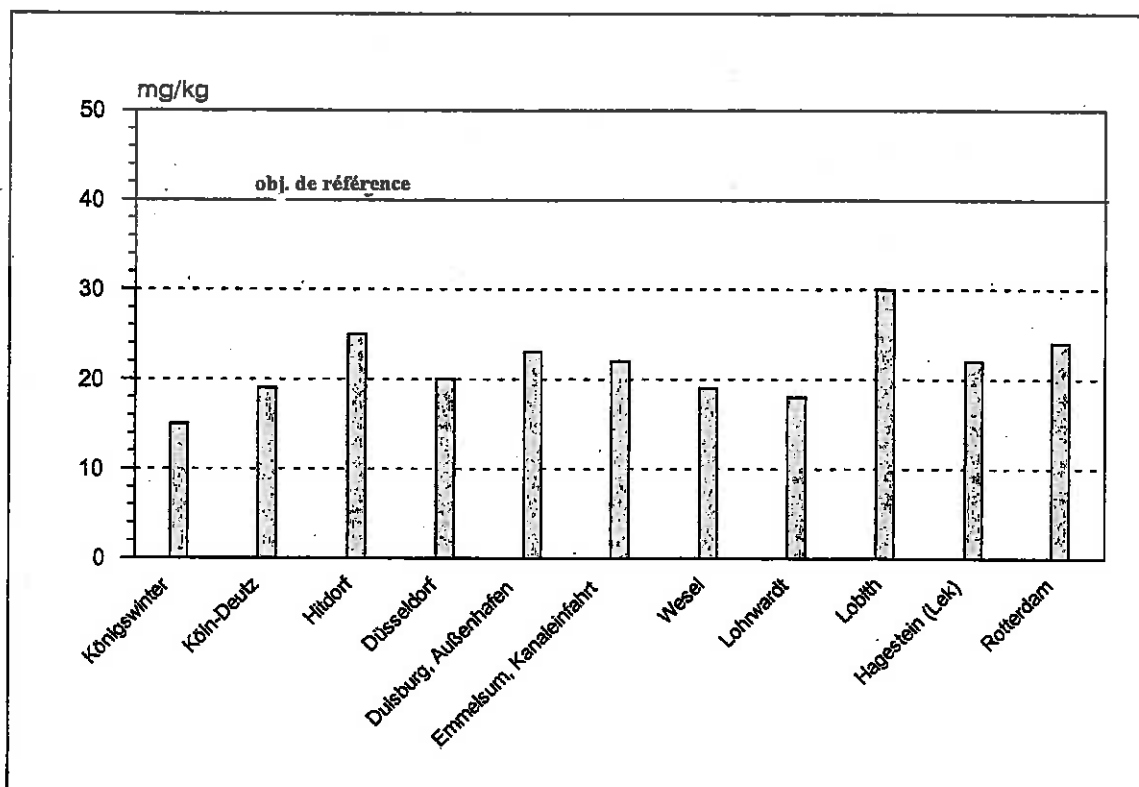


Fig. 3.5.8c : Arsenic dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.5.9 Cobalt

Dans le haut Rhin et le Rhin supérieur, les teneurs en cobalt sont de l'ordre de 10 mg/kg. Elles augmentent ensuite, passant de 14 mg/kg à Coblenz à 15 – 20 mg/kg dans le Rhin inférieur et le delta. La seule exception vient de la station de mesure de Neuss, située en aval du débouché de l'Eff, qui accuse une teneur en cobalt sensiblement plus élevée avec 36 mg/kg.

La CIPR n'a pas fixé d'objectif de référence pour le métal lourd cobalt. Selon le VDLUFA*, une valeur de 50 mg/kg est considérée tolérable dans les sols cultivés. A l'exception de Neuss, toutes les stations de mesure présentent des concentrations nettement inférieures à cette valeur.

*Source: Communications du Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (*Union allemande des instituts agricoles d'étude et de recherche*) (1980), cahiers 1-3, p. 11. Les valeurs doivent être respectées entre autres lors de l'épandage de composts, de boues d'épuration et de boues fluviales sur les sols cultivés.

Fig. 3.5.9a: Cobalt dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

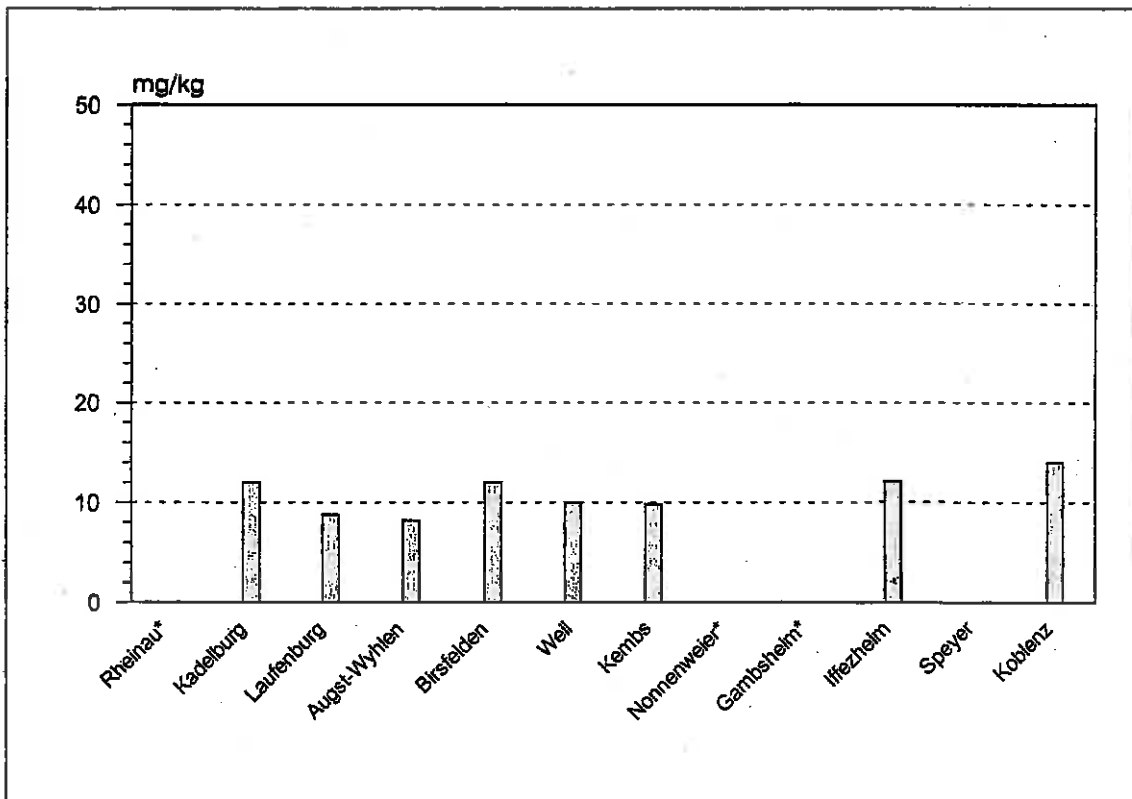


Fig. 3.5.9b: Cobalt dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

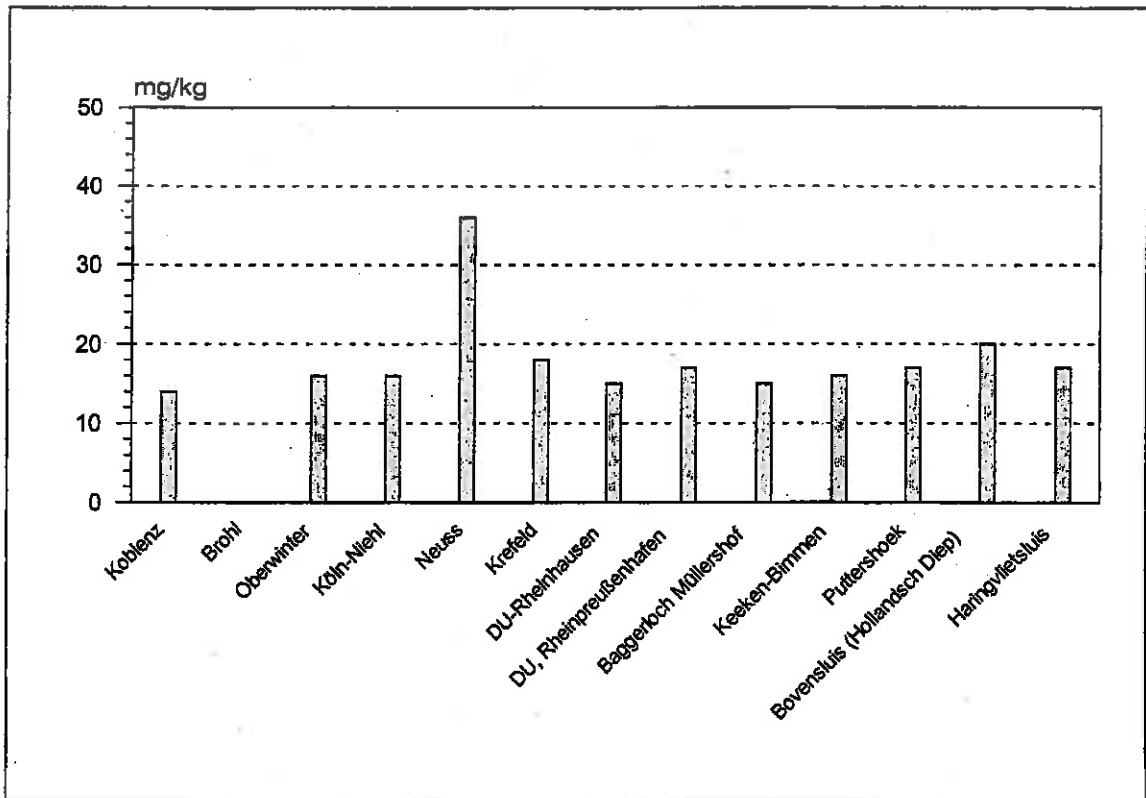
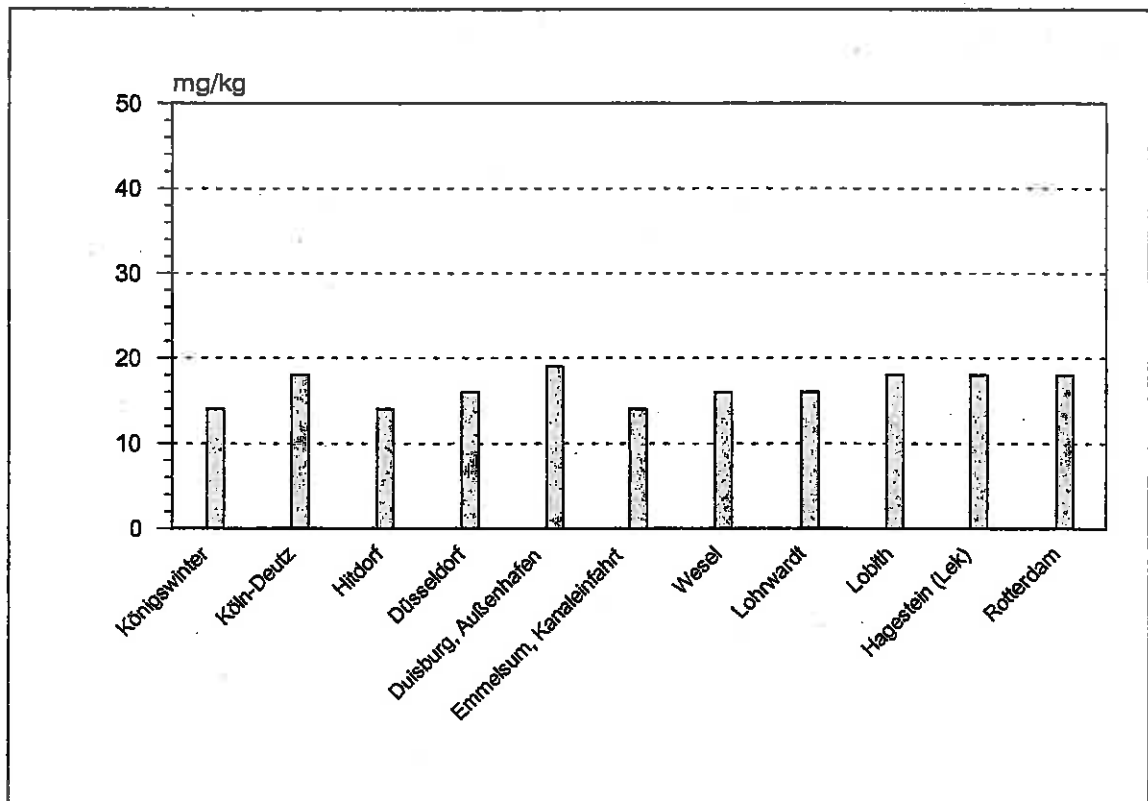


Fig. 3.5.9c: Cobalt dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.5.10 Vanadium

Le vanadium a été analysé dans le cadre de la CIPR pour la première fois en 1995. Sur le profil longitudinal du Rhin, les teneurs augmentent lentement, passant de 60 –70 mg/kg dans le haut Rhin à des valeurs de l'ordre de 100 mg/kg dans le Rhin inférieur et le delta. A l'exception des centres de pollution du le Rhin inférieur, les concentrations sont comparables à celles du chrome.

La valeur de tolérance fixée pour le vanadium dans les sols cultivés est également de 50 mg/kg*. A l'opposé du cobalt, les teneurs atteignent déjà cette valeur de tolérance dans le haut Rhin. On constate des dépassements sensibles dans quelques stations du Rhin inférieur et du delta.

*Voir chap. 3.5.9

Fig. 3.5.10a: Vanadium dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

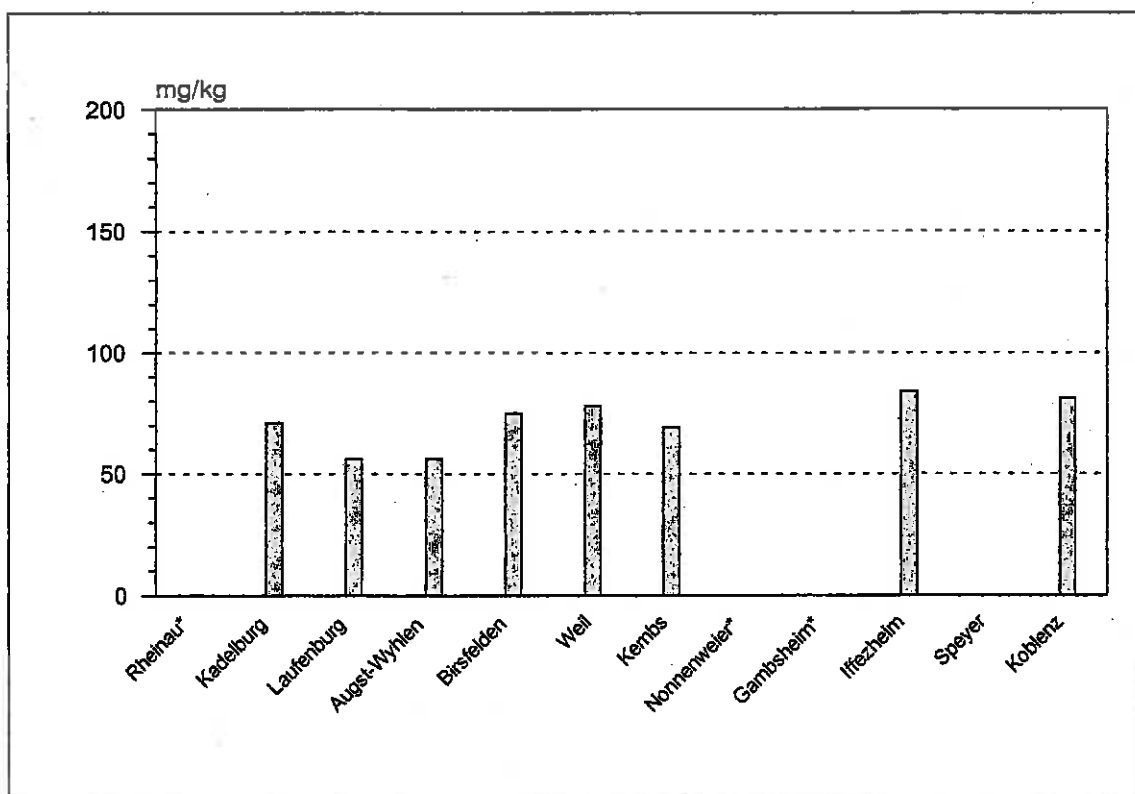


Fig. 3.5.10b: Vanadium dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta , rive gauche

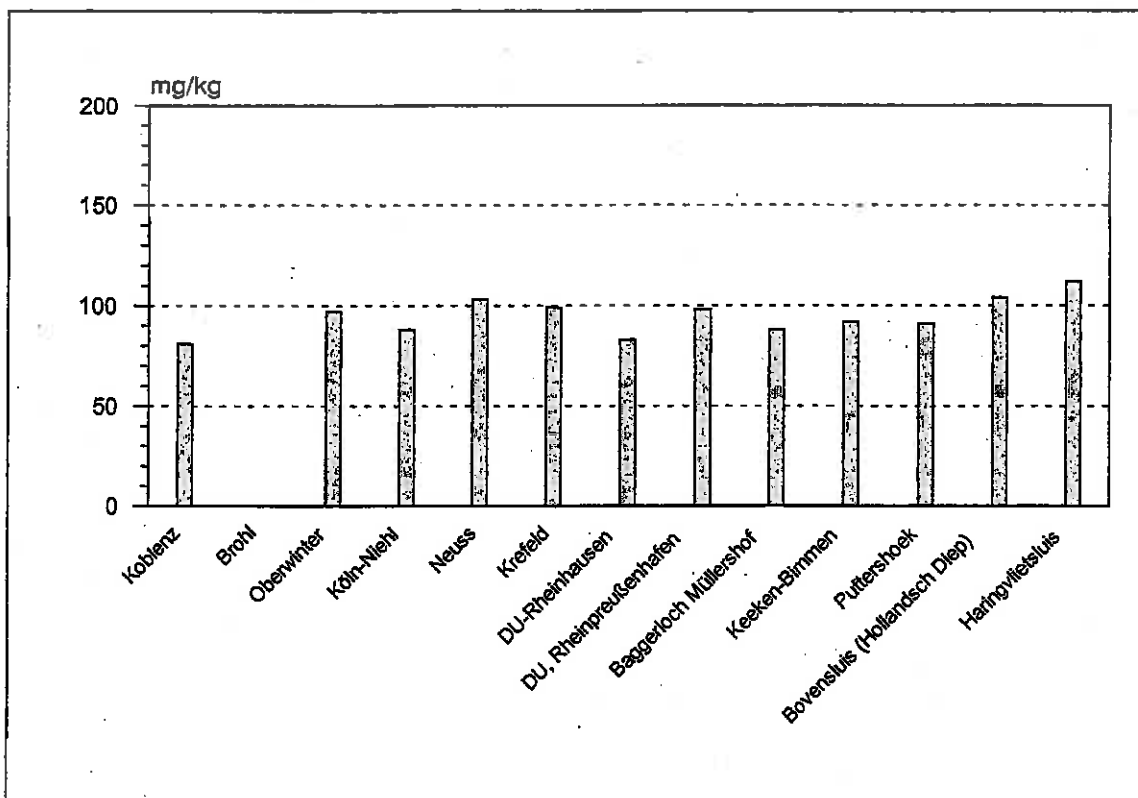
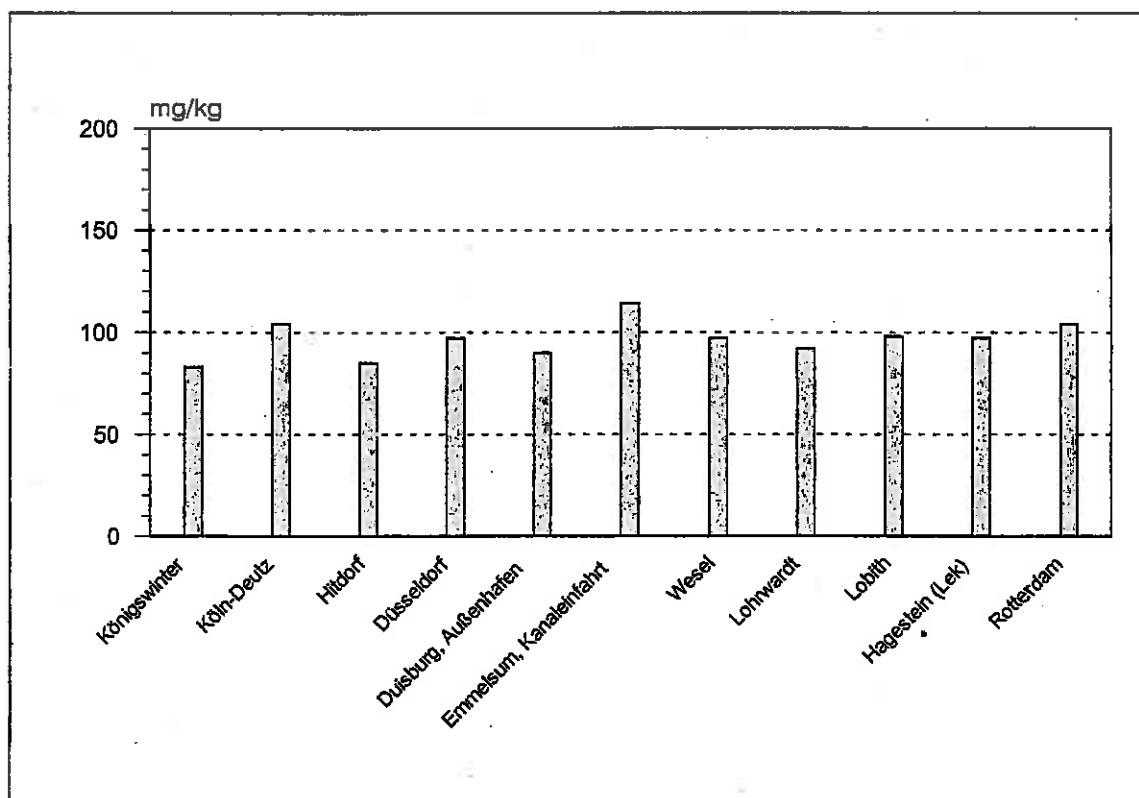


Fig. 3.5.10c: Vanadium dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.6 Micropolluants organiques

Ce chapitre examine en détail un nombre important de micropolluants organiques, notamment les benzènes polychlorés, les biphényles et les dibenzo-p-dioxines et dibenzo-furanes, ainsi que les hydrocarbures polycycliques aromatiques et les composés organoétains, étant donné que ces substances sont détectées dans les sédiments du Rhin en concentrations nettement mesurables. Le chapitre 3.6.6 rassemble les substances organiques n'apparaissant qu'en faibles concentrations ou en concentrations inférieures à la limite analytique de dosage.

3.6.1 Chlorobenzènes

A hauteur des stations de mesure de Kadelburg et d'Augst-Wyhlen, les teneurs en 1,2-dichlorobenzène sont inférieures à la limite analytique de dosage de 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Avec des teneurs inférieures à 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$, les autres stations de mesure du haut Rhin et du Rhin supérieur jusqu'à Kembs sont peu contaminées. A Iffezheim et Coblenz, les concentrations dépassent 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ et sont de l'ordre de 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ plus en aval, sur la rive gauche du Rhin moyen et du Rhin inférieur, depuis Oberwinter jusqu'à Duisburg-Rheinhausen. Après une hausse provisoire de 29 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans la gravière de Müllershof, la teneur en 1,2-dichlorobenzène retombe à 17 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Keeken-Bimmen. On note dans le delta méridional une augmentation sensible de la contamination avec des valeurs allant de 30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Puttershoek à 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans le Hollandsch Diep et atteignant 71 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Haringvlietsluis.

En revanche, la rive droite du Rhin se distingue par quelques points noirs de pollution. Ceci concerne notamment la station de mesure d'Hitdorf avec 62 $\mu\text{g}/\text{kg}$, l'entrée du canal d'Emmelsum avec 47 $\mu\text{g}/\text{kg}$, et surtout Lobith (voir partie A du rapport A-m 87/97). Dans la plupart des autres stations de mesure, les teneurs vont de 20 à 30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ et sont donc légèrement supérieures à celles mesurées sur la rive gauche du Rhin inférieur. La contamination du delta septentrional à hauteur de Rotterdam est analogue à celle constatée à Haringvlietsluis; elle est en revanche plus faible dans la Ketelmeer.

Fig. 3.6.1a: 1,2-dichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

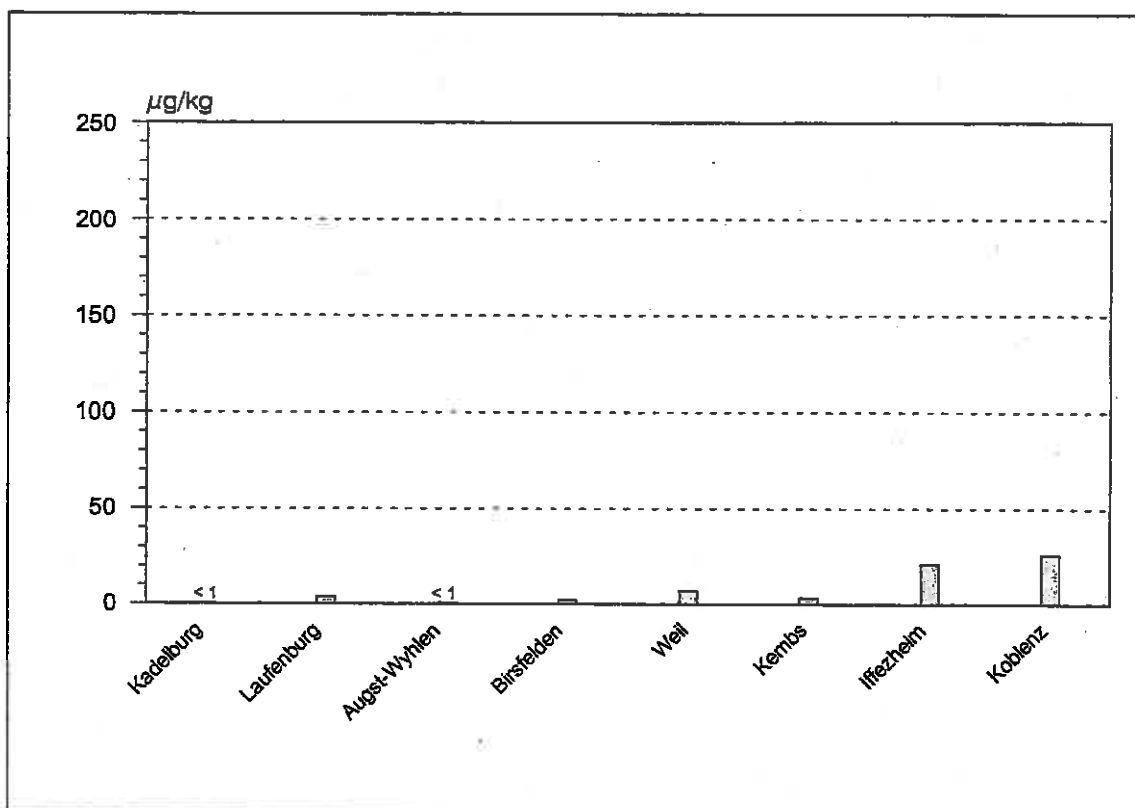


Fig. 3.6.1b: 1,2-dichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

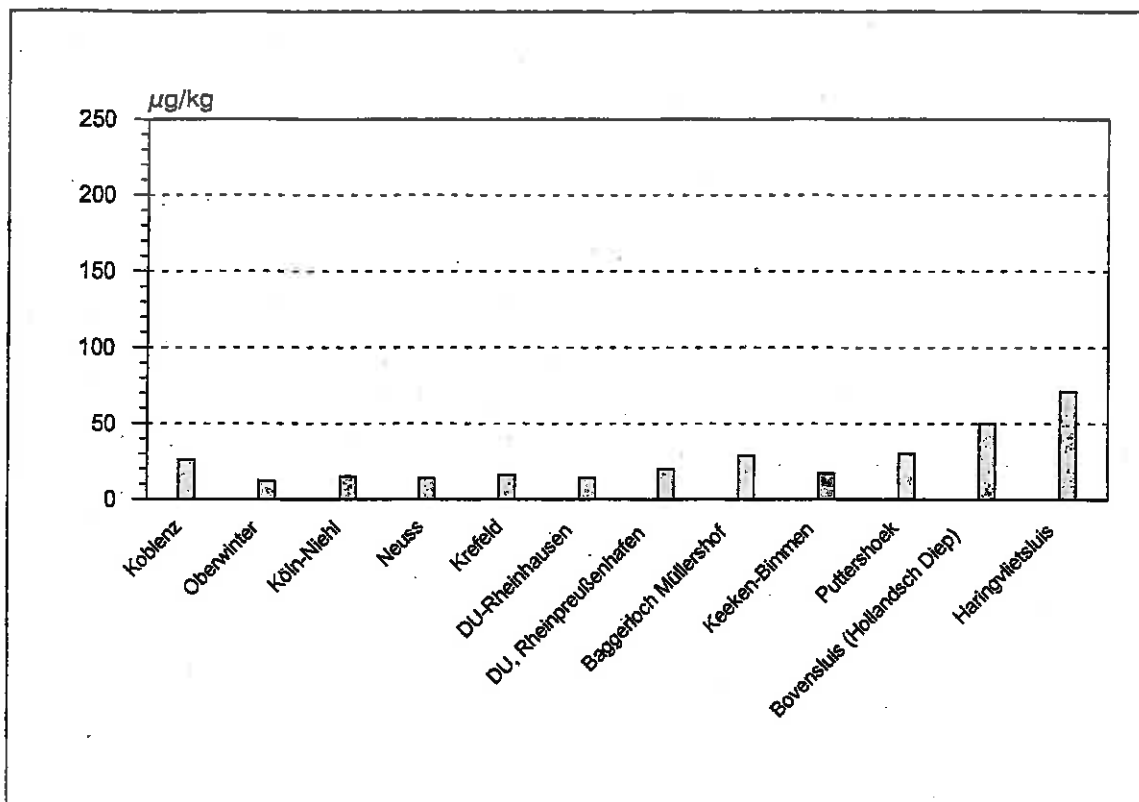
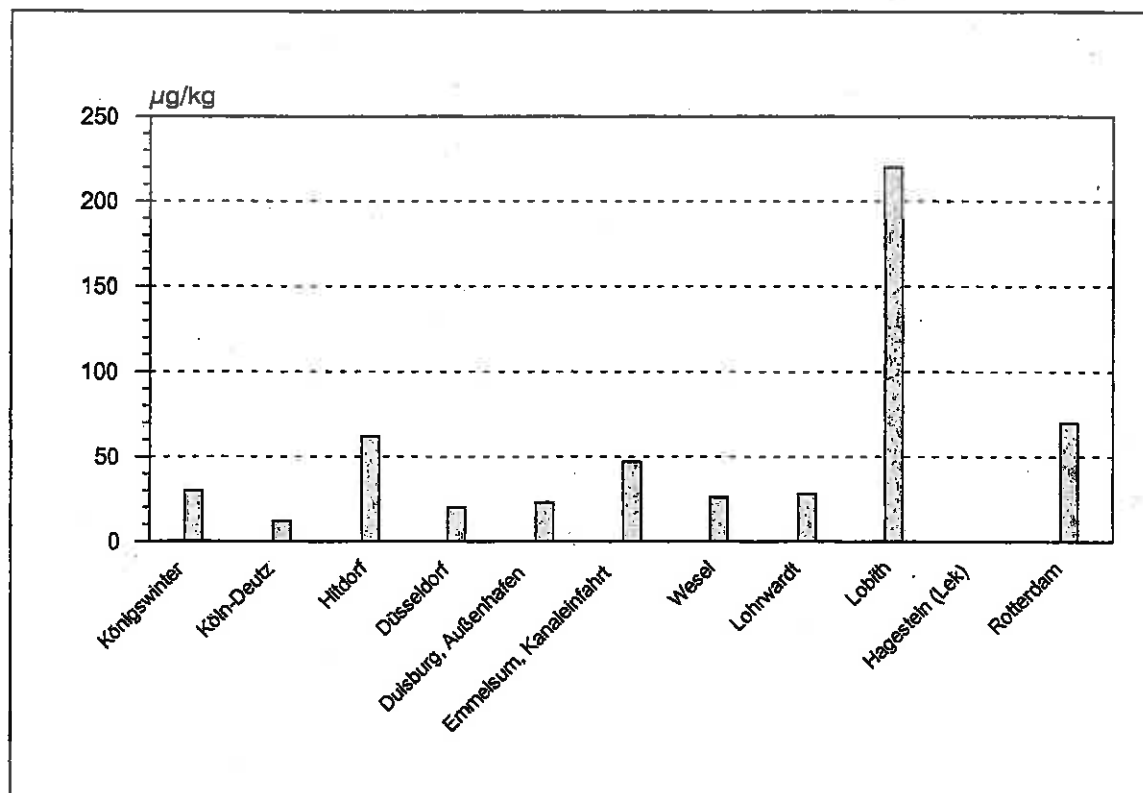


Fig. 3.6.1c: 1,2-dichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Comme pour presque tous les composés organochlorés, la teneur en 1,3-dichlorobenzène mesurée à Kadelburg est inférieure à la limite analytique de dosage de 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Comparées aux concentrations de 1,2-dichlorobenzène, les teneurs en 1,3-dichlorobenzène sont plus élevées aux stations de mesure d'Augst-Wyhlen, de Weil et d'Iffezheim alors qu'elles sont plus faibles vers l'aval dans le Rhin moyen et le Rhin inférieur sur les deux rives ainsi que dans la zone deltaïque. La seule exception vient du pic de pollution d'Hitdorf. Comme pour les autres isomères, la teneur maximale est obtenue à Lobith avec 120 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Fig. 3.6.2a: 1,3-dichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

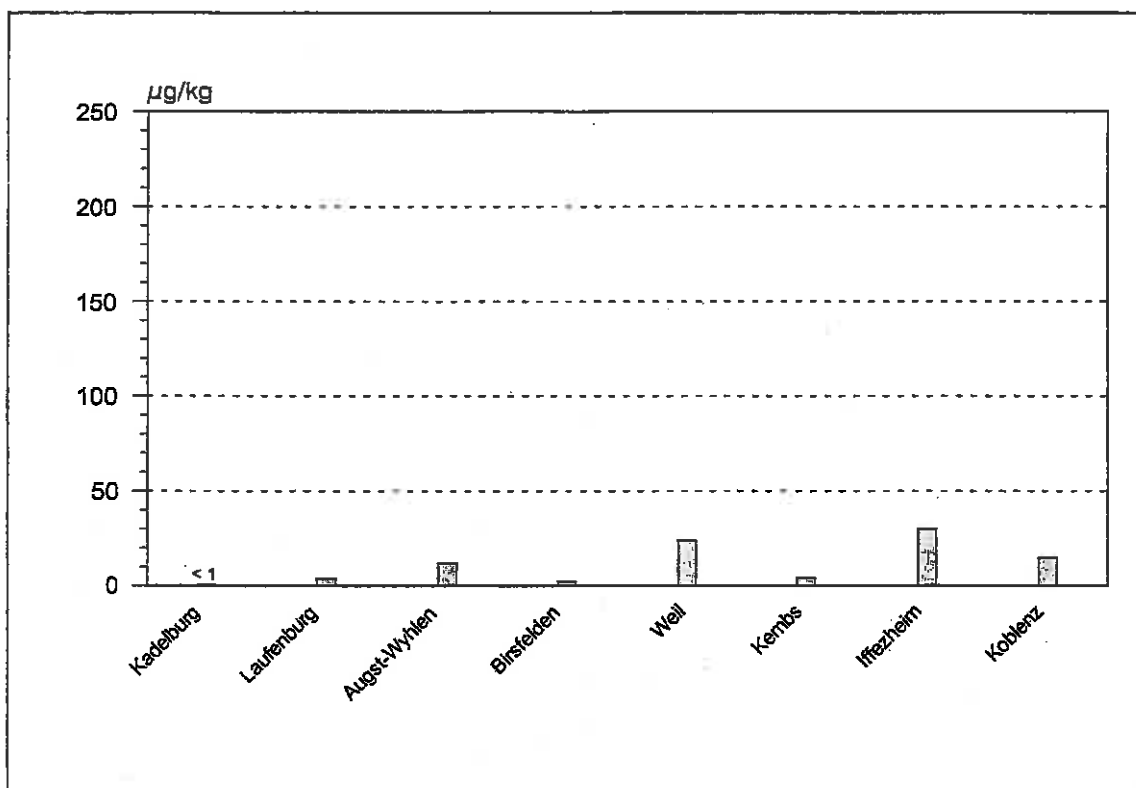


Fig. 3.6.2b: 1,3-dichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

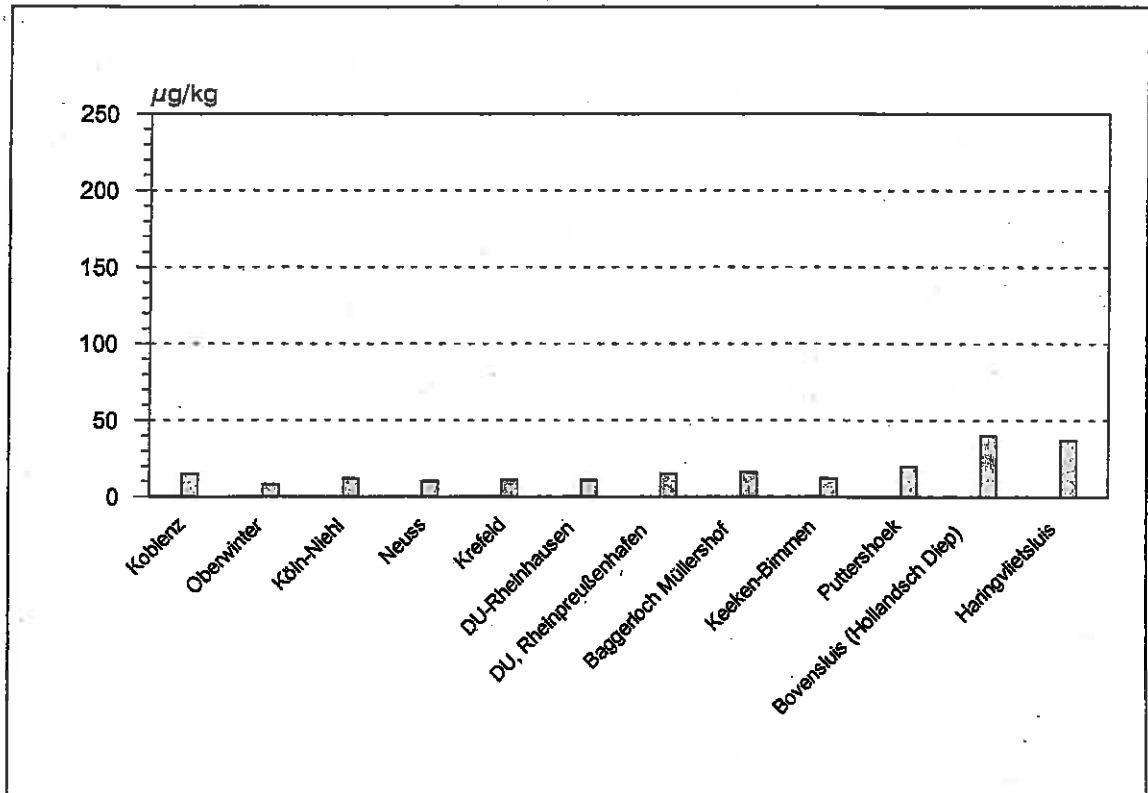
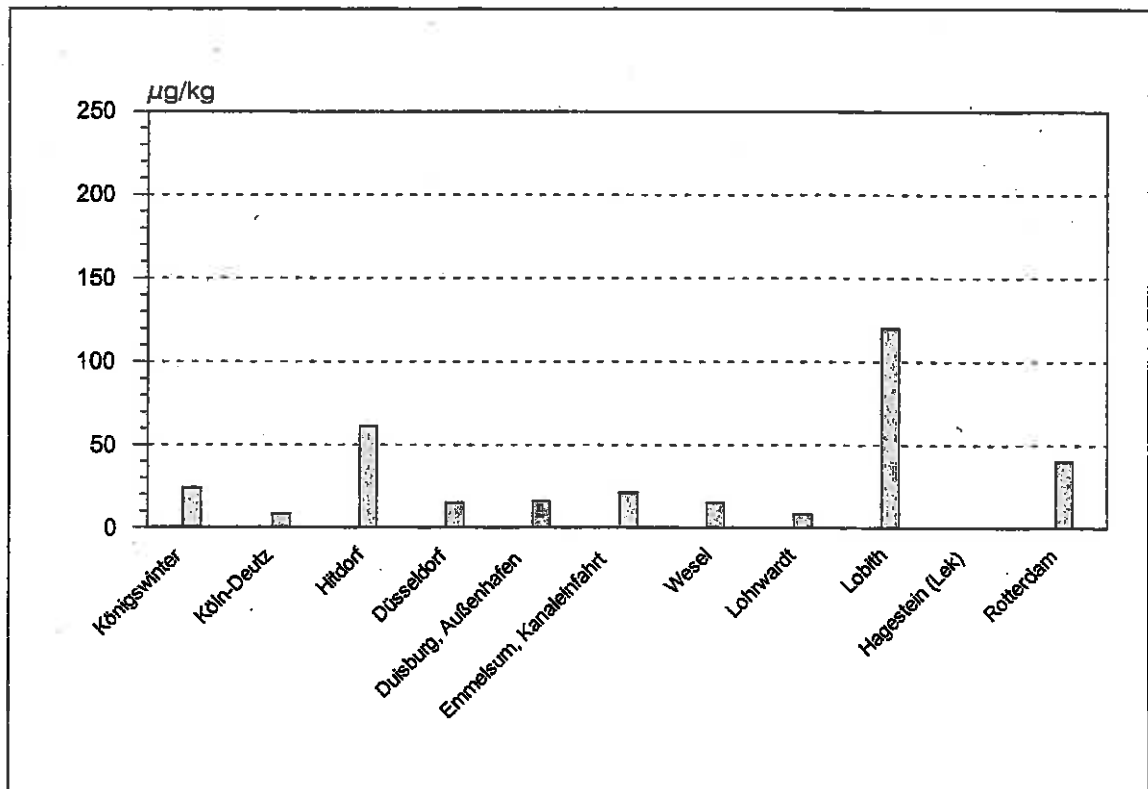


Fig. 3.6.2c: 1,3-dichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Le 1,4-dichlorobenzène est l'isomère accusant les plus fortes concentrations dans la plupart des stations de mesure. Alors qu'une fois encore la station de Kadelburg, située sur le haut Rhin, s'avère non polluée, on note déjà à hauteur de Weil une teneur relativement élevée de 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Plus en aval, la station de mesure de Kembs n'est que faiblement contaminée. Si la teneur en 1,4-dichlorobenzène est à nouveau en hausse à Iffezheim avec 39 $\mu\text{g}/\text{kg}$, elle retombe ensuite toutefois à des valeurs de l'ordre de 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$ sur la rive gauche du Rhin inférieur. La contamination remonte à une teneur de 99 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans le delta méridional à hauteur d'Haringvlietsluis.

Sur la rive droite du Rhin moyen et du Rhin inférieur, les teneurs en 1,4-dichlorobenzène sont sujettes à de fortes variations. On constate des concentrations élevées dans les stations de mesure de Königswinter, avec 40 $\mu\text{g}/\text{kg}$, d'Hitdorf, avec 87 $\mu\text{g}/\text{kg}$, et tout particulièrement de Lobith, avec 150 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Dans les autres stations, les teneurs oscillent entre 14 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Köln-Deutz et 35 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Emmelsum et Wesel. La teneur est de l'ordre de 70 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans le delta septentrional, une valeur analogue à celle de l'isomère 1,2-dichlorobenzène.

Fig. 3.6.3a: 1,4-dichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenze

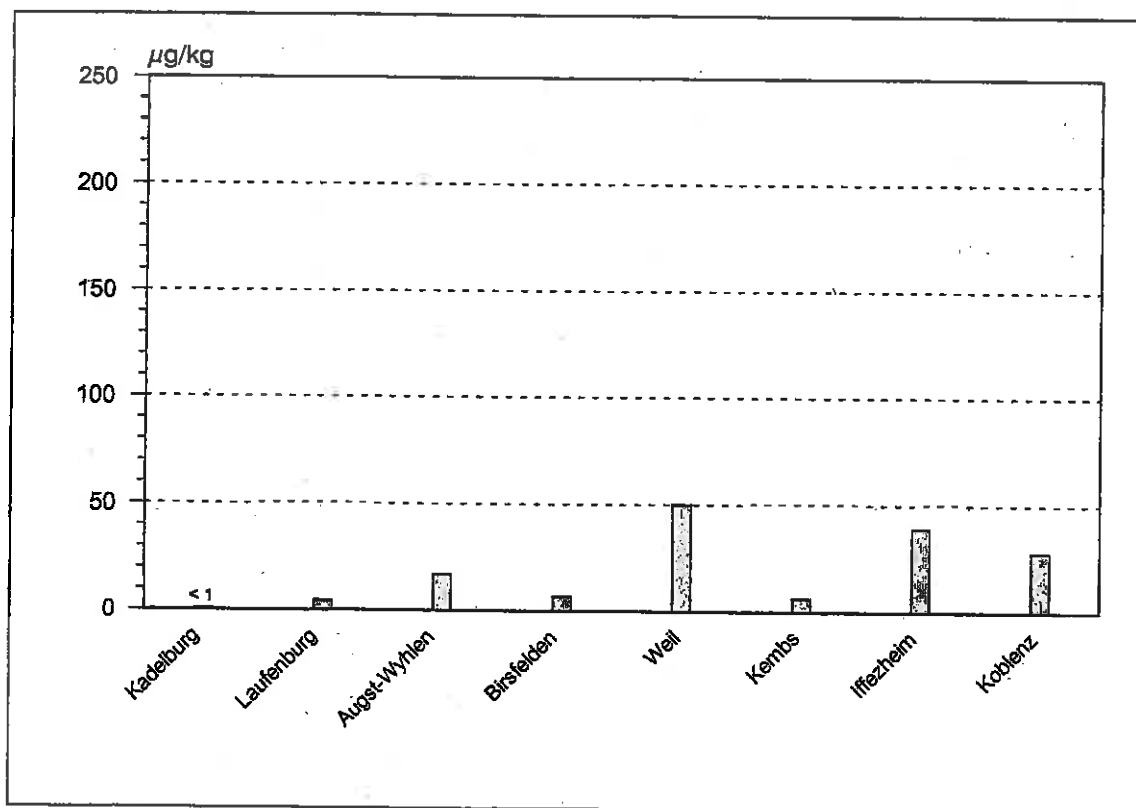


Fig. 3.6.3b: 1,4-dichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

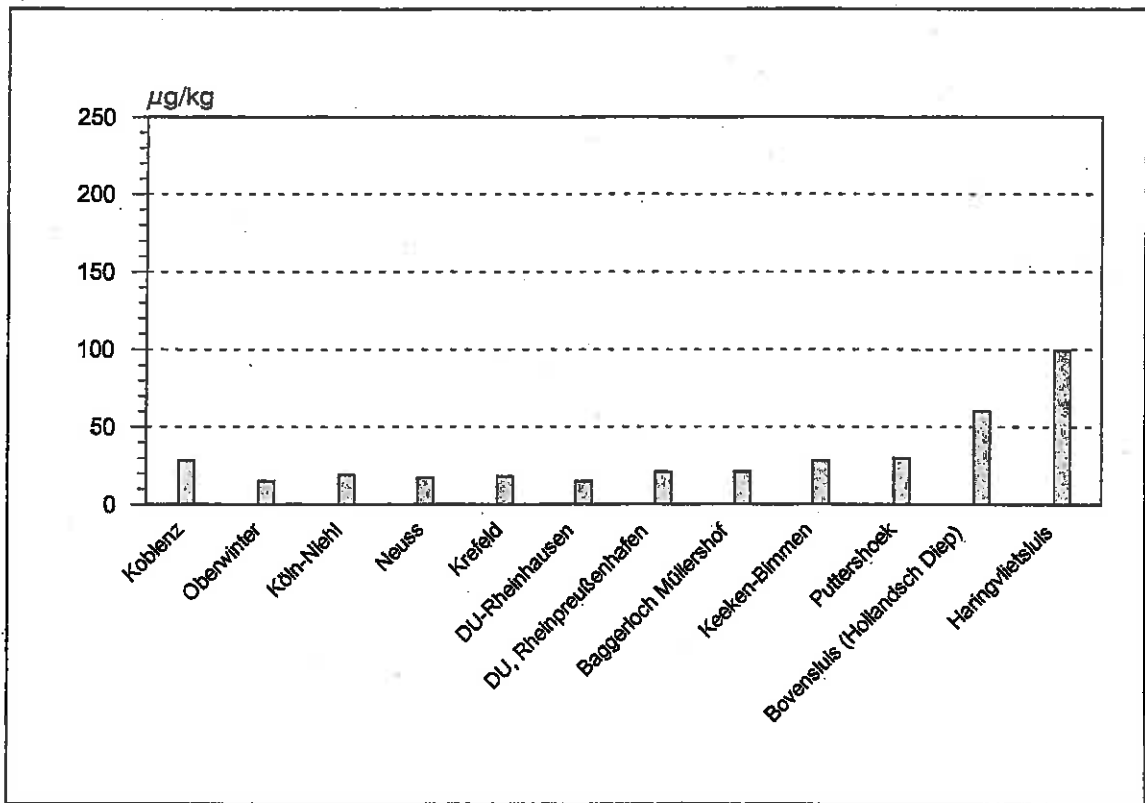
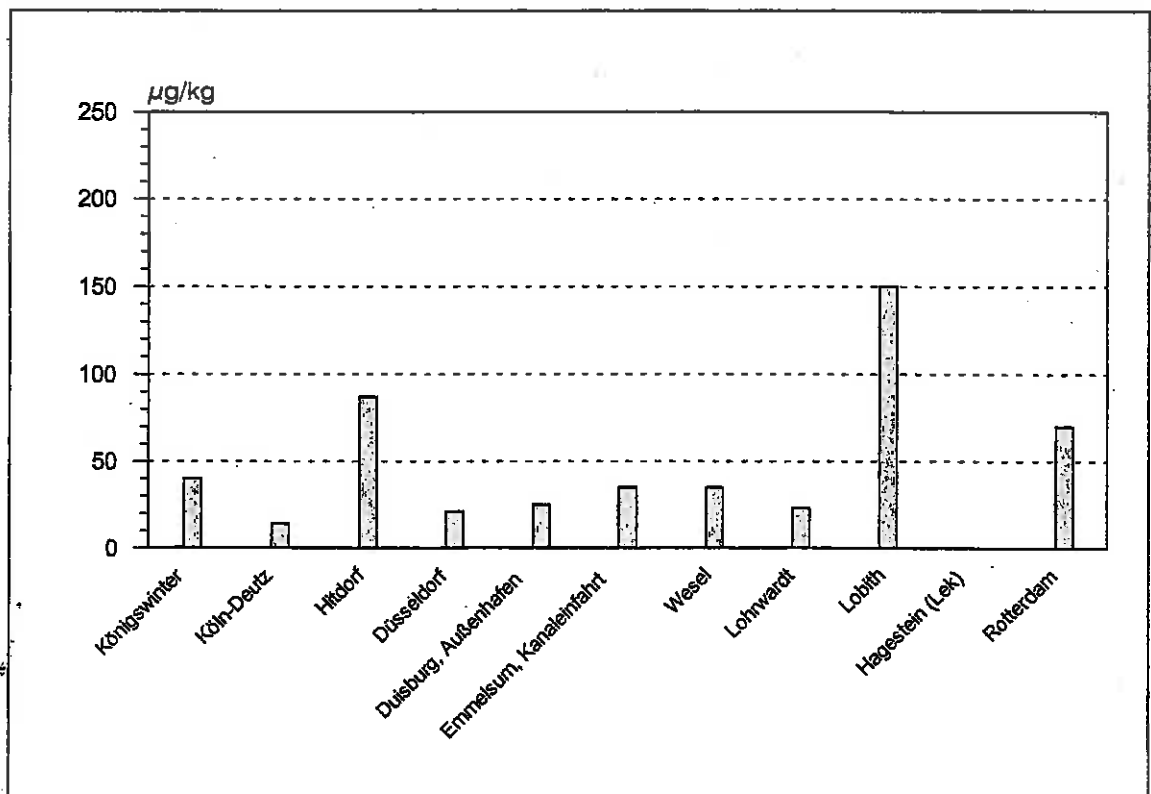


Fig. 3.6.3c: 1,4-dichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Dans la plupart des stations de mesure, les teneurs en 1,2,3-trichlorobenzène ne dépassent que légèrement la limite analytique de dosage de 1 µg/kg. Aux stations de mesure de Kadelburg, Augst-Wyhlen, Birsfelden, Weil, Kembs, Oberwinter et Ketelmeer, aucune contamination n'est relevée.

Les stations de mesure de Kadelburg et de Birsfelden sont les seules à ne présenter aucune contamination au 1,2,4-trichlorobenzène. A partir de Weil, les teneurs entament une progression pour atteindre 15 µg/kg à Kembs et se maintiennent à ce niveau vers l'aval jusqu'à la gravière de Müllershof (rive gauche du Rhin inférieur). La hausse progressive des teneurs reprend ensuite, se poursuit à Keeken-Bimmen et atteint 53 µg/kg à Haringvlietshuis dans le delta méridional.

Sur la rive droite du Rhin inférieur en revanche, les teneurs en 1,2,4-trichlorobenzène accusent des variations plus sensibles, les stations de mesure d'Hitdorf, avec 64 µg/kg, et de Lobith, avec 80 µg/kg, étant à nouveau les plus touchées. Dans les autres stations de mesure, les teneurs oscillent autour de 20 µg/kg. La concentration de 1,2,4-trichlorobenzène atteint 40 µg/kg à Rotterdam, dans le delta septentrional.

Fig. 3.6.4a: 1,2,4-trichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

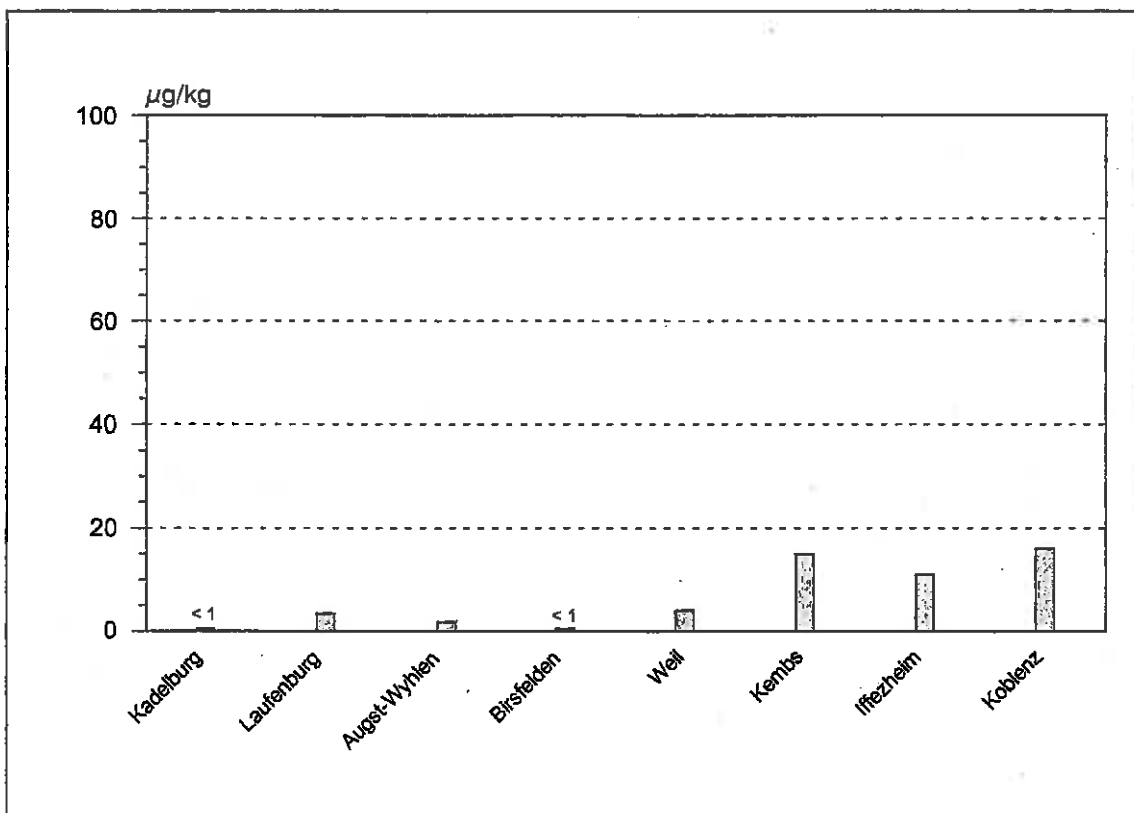


Fig. 3.6.4b: 1,2,4-trichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

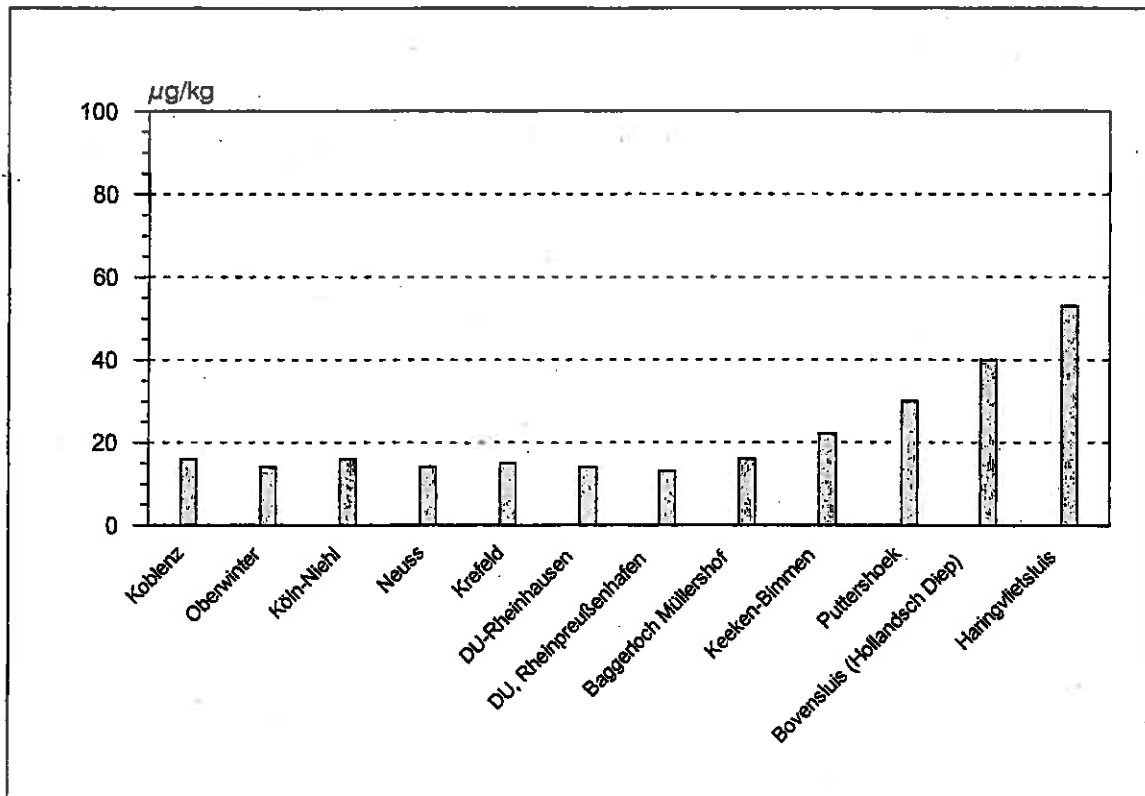
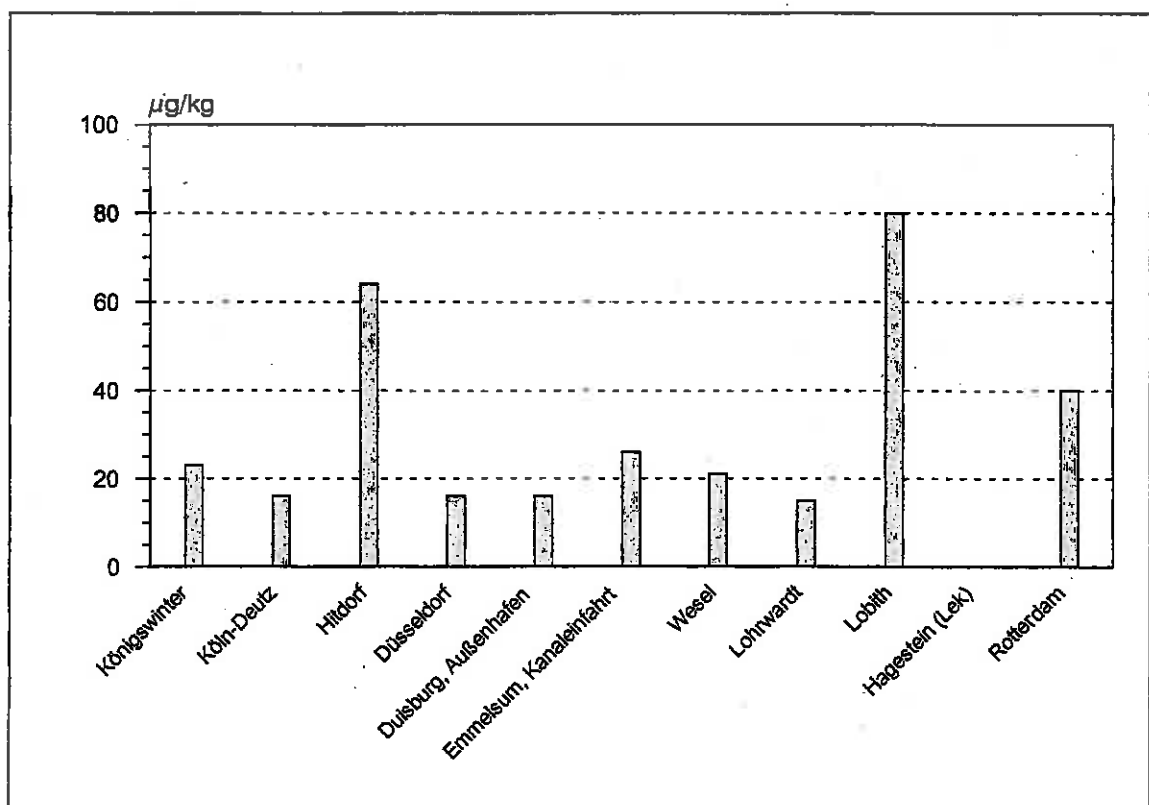


Fig. 3.6.4c: 1,2,4-trichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



La seule station de mesure non contaminée par le 1,3,5-trichlorobenzène est celle de Kadelburg, point de départ des mesures. Dans l'ensemble, les teneurs sont toutefois nettement moins élevées que pour le 1,2,4-trichlorobenzène. Sur le haut Rhin et le Rhin supérieur jusqu'à Kembs, les teneurs en 1,3,5-trichlorobenzène ne dépassent que faiblement la limite analytique de dosage de 1 µg/kg. A hauteur d'Iffezheim, on note une hausse provisoire de la teneur en 1,3,5-trichlorobenzène, qui atteint 11 µg/kg, avant de repasser nettement sous la barre des 10 µg/kg à Coblenz sur la rive gauche du Rhin inférieur, et de retomber à Keeken-Bimmen au niveau d'Iffezheim. Dans la partie méridionale du delta, les teneurs remontent à 30 µg/kg dans le Hollandsch Diep et à Haringvlietsluis.

Sur la rive droite du Rhin inférieur, de fortes variations sont à signaler, comme pour tous les autres chlorobenzènes. Les concentrations maximales sont détectées à hauteur de la station de mesure d'Hitdorf, avec 16 µg/kg, à l'entrée du canal d'Emmelsum, avec 25 µg/kg, à Wesel, avec 13 µg/kg, ainsi qu'à Lobith, avec 44 µg/kg. Les teneurs mesurées dans les autres stations de mesure situées sur la rive droite du Rhin inférieur sont comparables à celles de la rive gauche du Rhin inférieur. A Rotterdam, comme dans la partie méridionale du delta, la teneur en 1,3,5-trichlorobenzène est de l'ordre de 30 µg/kg.

Fig. 3.6.5a: 1,3,5-trichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

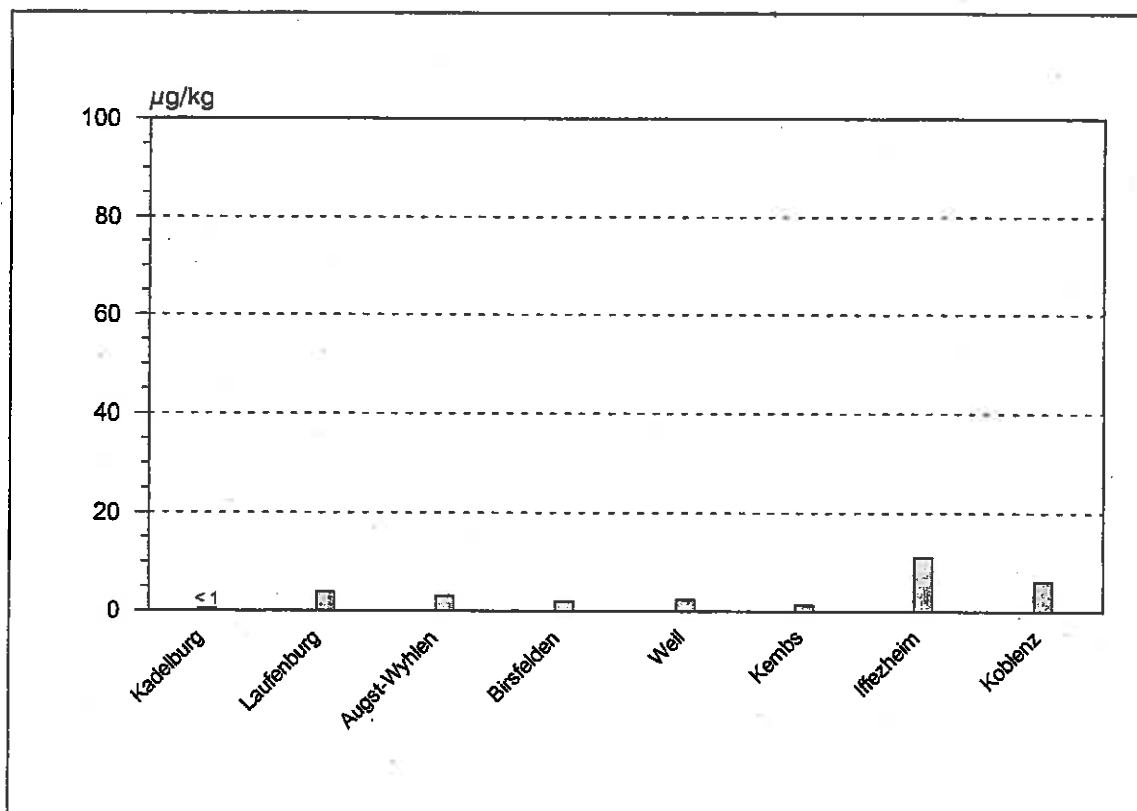


Fig. 3.6.5b: 1,3,5-trichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

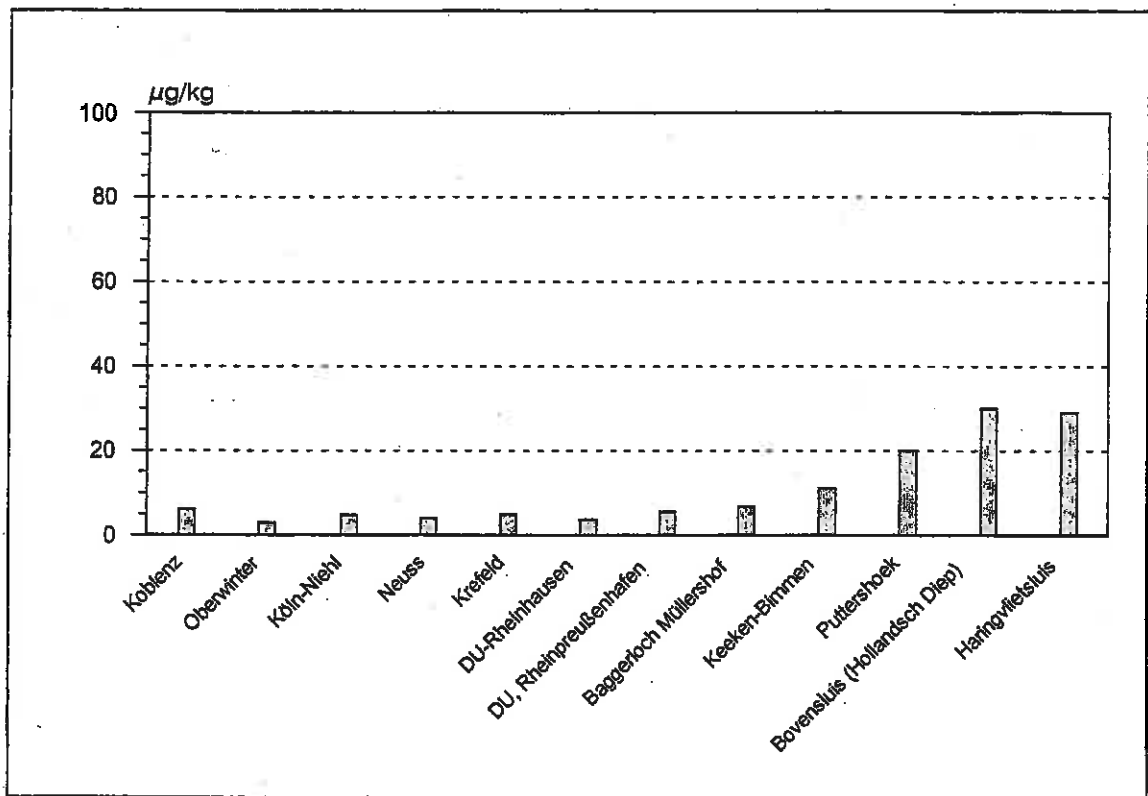
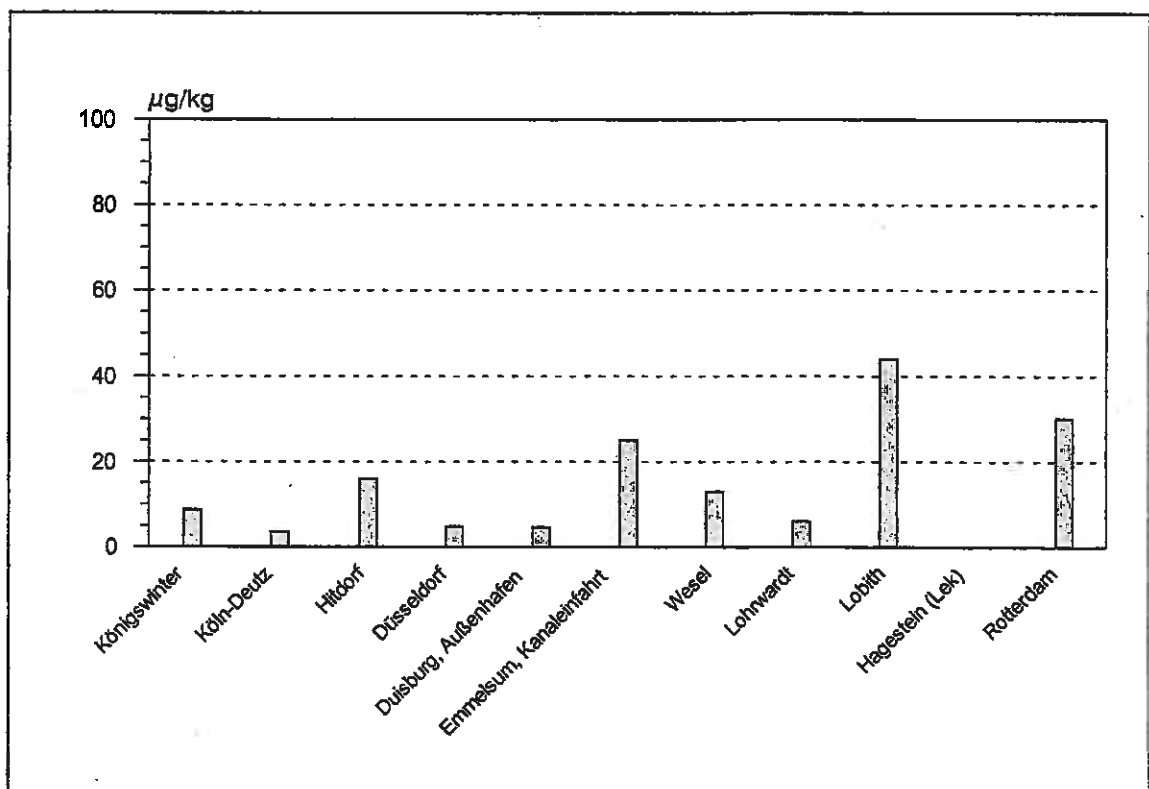


Fig. 3.6.5c: 1,3,5-trichlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Sur tout le profil longitudinal du Rhin, les teneurs en 1,2,3,4-tétrachlorobenzène et en 1,2,3,5-tétrachlorobenzène, isomères du tétrachlorobenzène, sont de l'ordre de la limite analytique de dosage de 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ou inférieures à celle-ci.

La situation est différente dans le cas du 1,2,4,5-tétrachlorobenzène. On note ici dans quelques stations de mesure la présence de concentrations nettement plus élevées, notamment à Kembs avec 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La cause de cette contamination reste pour l'instant sans réponse. D'autres stations accusent des valeurs de 1,2,4,5-tétrachlorobenzène surélevées, à savoir Lobith (16 $\mu\text{g}/\text{kg}$), Haringvlietsluis (8,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$), Hitdorf (8,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$) et Keeken-Bimmen avec 7,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Les teneurs détectées dans les autres stations de mesure sont comparables à celles constatées pour les deux autres isomères.

Fig. 3.6.6a: 1,2,4,5-tétrachlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

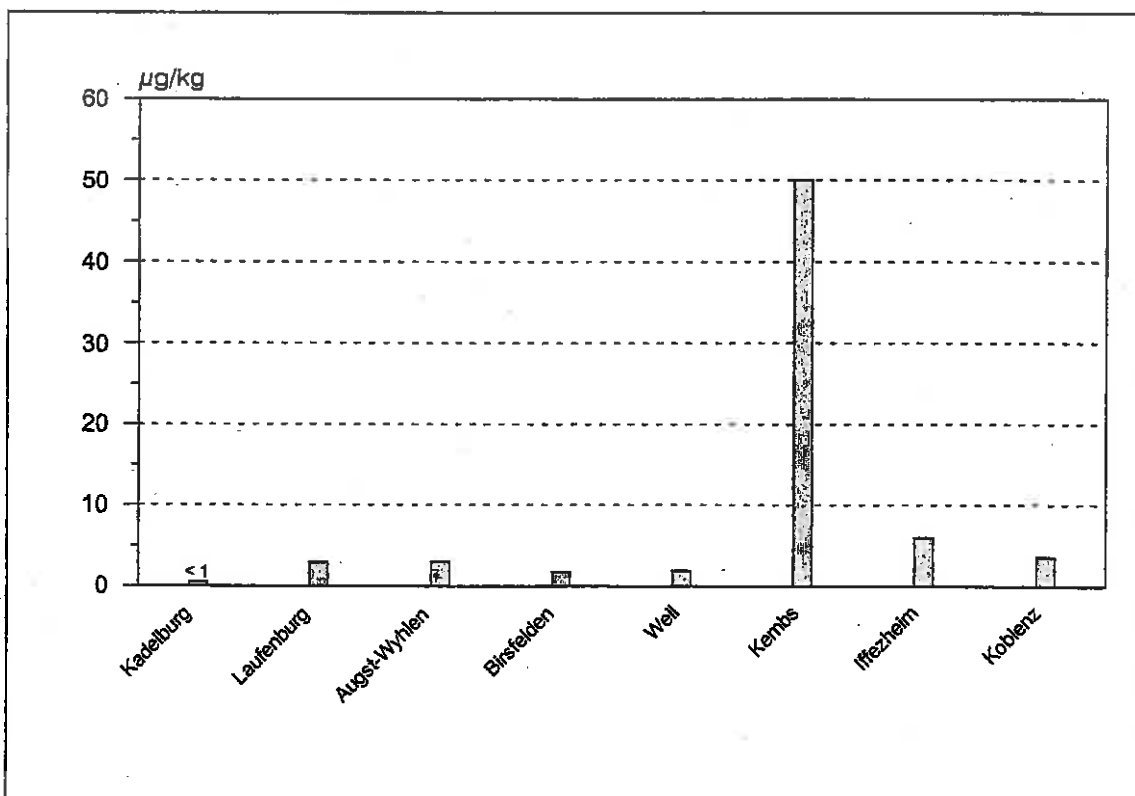


Fig. 3.6.6b: 1,2,4,5-tétrachlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

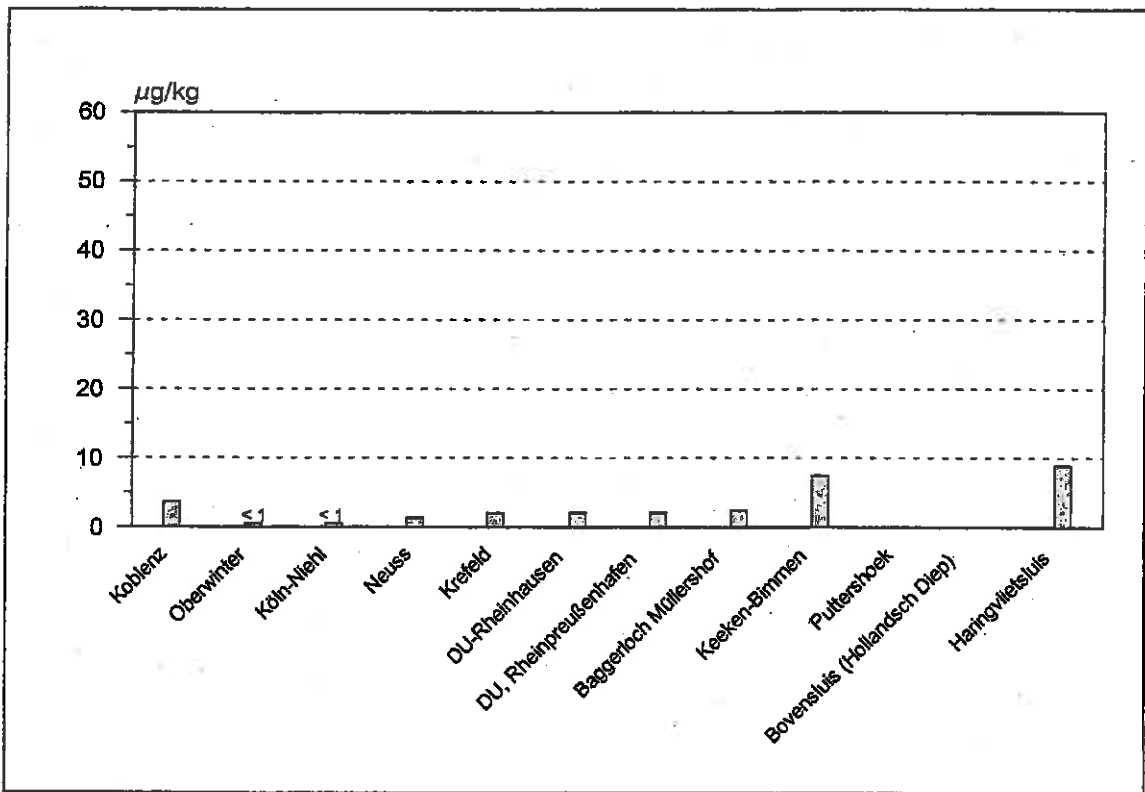
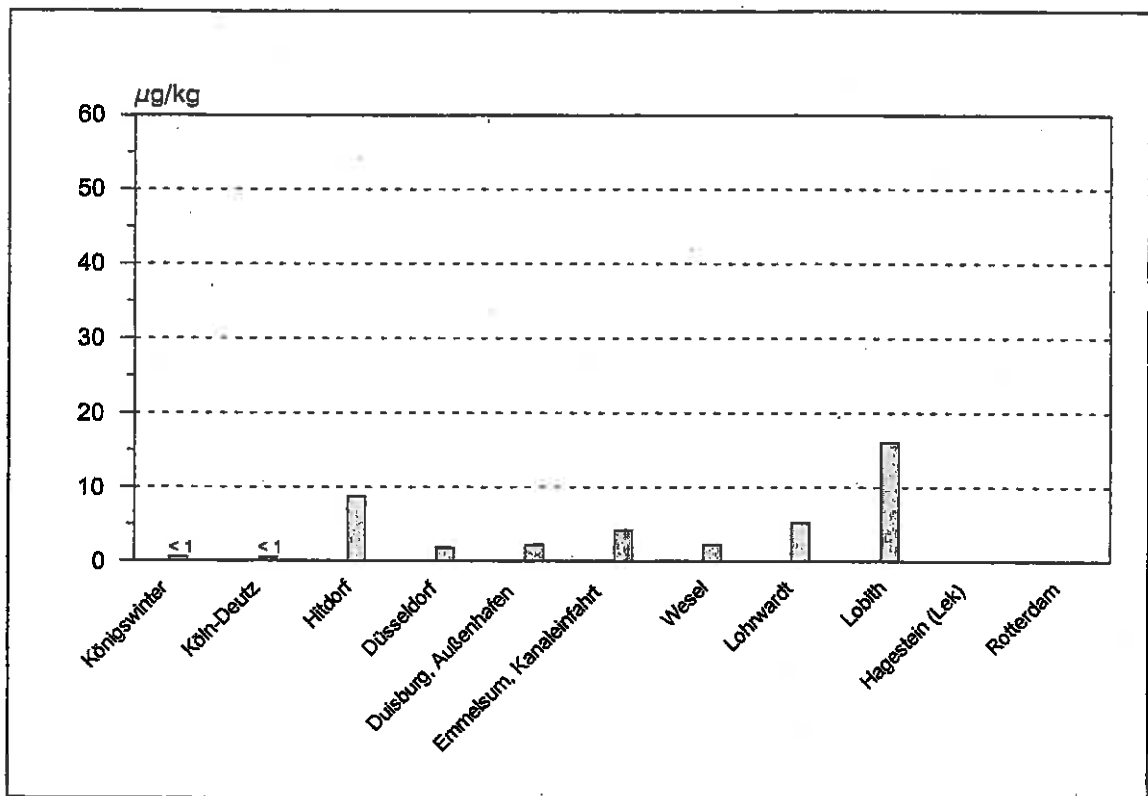


Fig. 3.6.6c: 1,2,4,5-tétrachlorobenzène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Les teneurs de pentachlorobenzène sont inférieures à 5 µg/kg dans presque toutes les stations de mesure. Avec des valeurs comprises autour de 7 µg/kg, les stations d'Hitdorf, de Lobith et d'Haringvlietsluis sont les seules à présenter une contamination légèrement plus élevée.

L'évolution de la contamination par l'hexachlorobenzène (HCB) sur le profil longitudinal du Rhin diverge radicalement de celle des substances nuisibles décrites précédemment. A partir de la station de mesure de Kadelburg sur le haut Rhin, où aucune pollution par l'HCB n'est constatée, les teneurs augmentent déjà fortement à hauteur de la station d'Augst-Whylen, située en aval de Rheinfelden, et atteignent un sommet dans le Rhin supérieur. Le tronçon compris entre Kembs et Iffezheim se distingue ici par une contamination particulièrement prononcée avec des concentrations de l'ordre de 300 µg/kg. Les valeurs retombent à moins de 100 µg/kg dans le Rhin moyen et le Rhin inférieur tout en restant sujettes à des variations plus ou moins importantes. Avec des teneurs de l'ordre de 10 µg/kg, le delta dans son ensemble est en revanche peu touché par l'HCB.

Par rapport à l'objectif de référence de la CIPR fixé à 40 µg/kg, on constate un très fort dépassement dans le Rhin supérieur et à hauteur de la station de mesure de Lohrwardt sur le Rhin inférieur (1er groupe de résultats). A Augst-Wyhlen, sur le Rhin moyen et dans pratiquement toutes les stations du Rhin inférieur, les teneurs en HCB sont proches de l'objectif de référence (2ème groupe de résultats). Les stations de mesure du haut Rhin ainsi que le delta dans son ensemble peuvent être ordonnés dans le 3ème groupe de résultats (objectif de référence respecté).

Fig. 3.6.7a: HCB dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenze

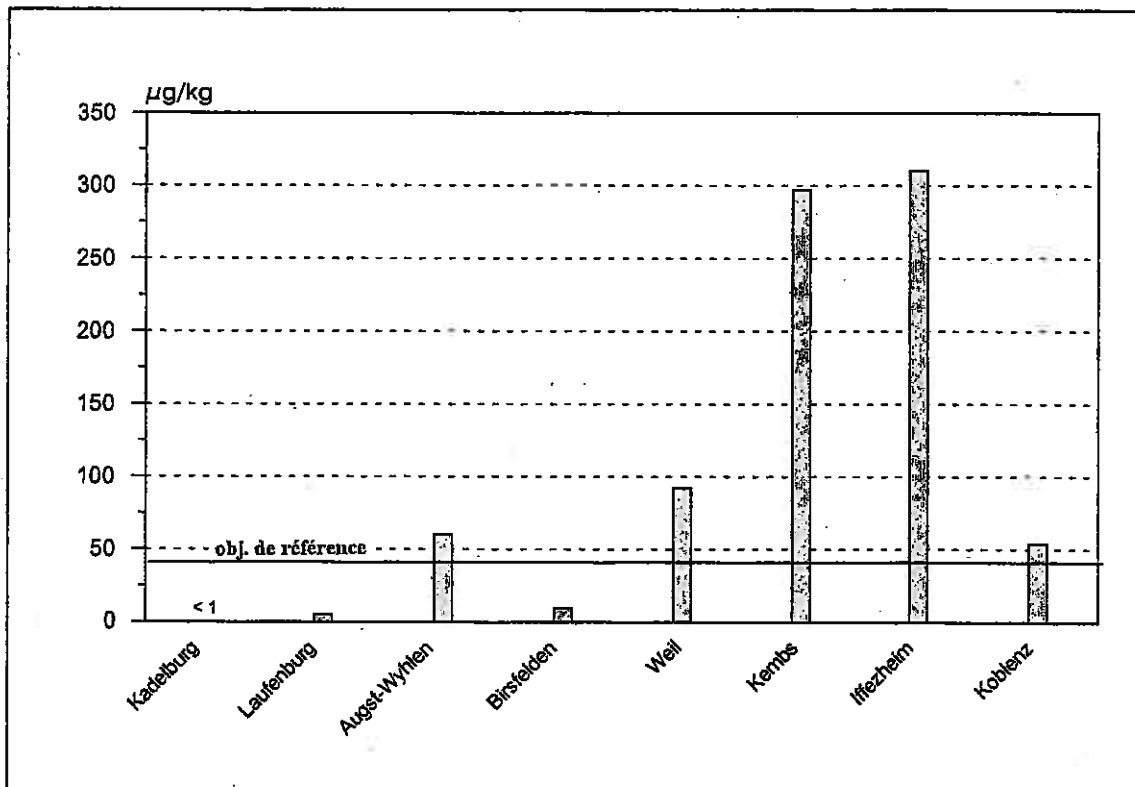


Fig. 3.6.7b: HCB dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

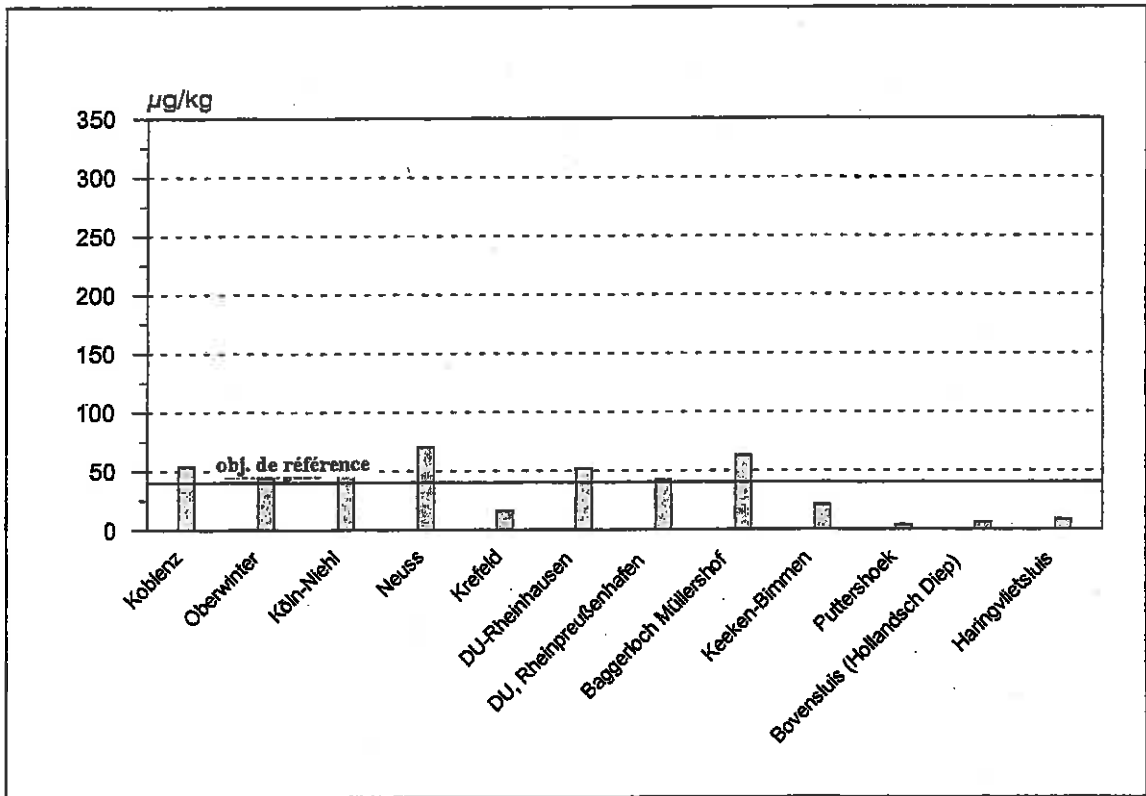
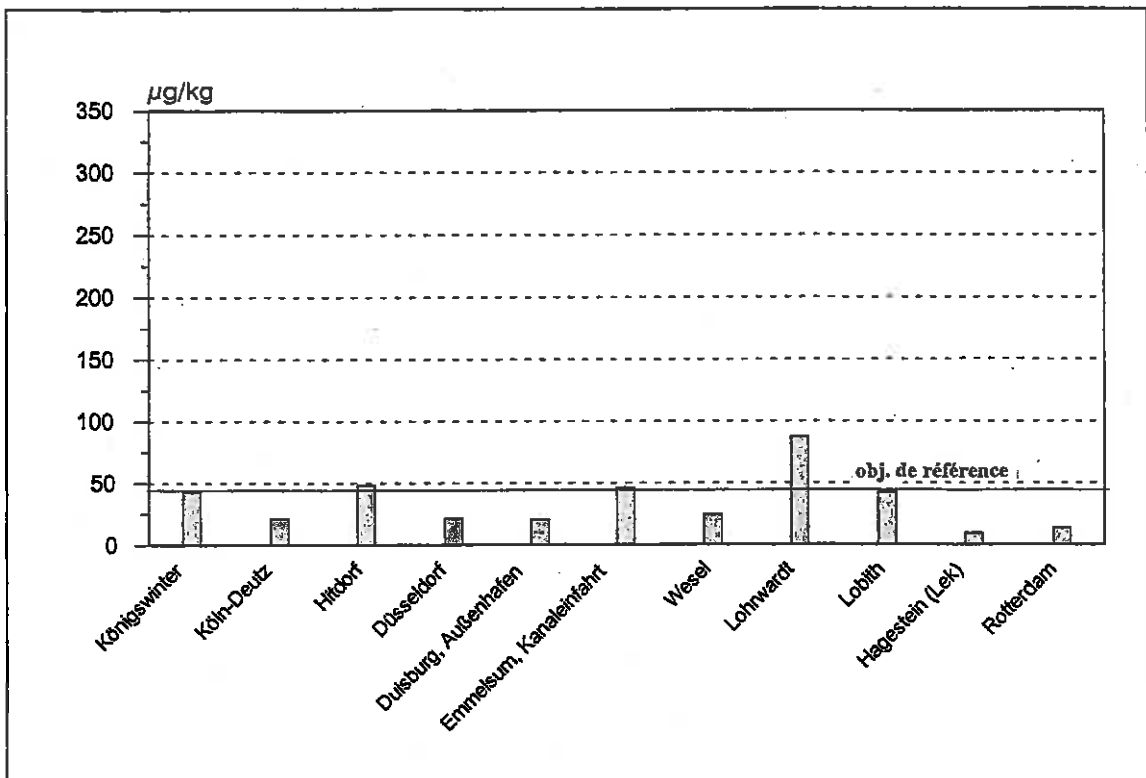


Fig. 3.6.7c: HCB dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.6.2 Polychloro-biphényles (PCB)

La somme des 6 congénères PCB (PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180) augmente lentement, passant de $< 5 \mu\text{g/kg}$ à Kadelburg sur le haut Rhin à environ $50 \mu\text{g/kg}$ à Oberwinter et Königswinter à la sortie du Rhin moyen et se maintient à ce niveau sur la rive gauche du Rhin jusqu'au Hollandsch Diep dans le delta méridional. Jusqu'à Haringvlietsluis, la teneur double, atteignant $100 \mu\text{g/kg}$. Avec environ $70 \mu\text{g/kg}$ en moyenne, les teneurs détectées sur la rive droite du Rhin inférieur sont quelque peu supérieures à celles de la rive gauche. Les stations de mesure d'Hitdorf ($207 \mu\text{g/kg}$), du Duisburger Außenhafen ($368 \mu\text{g/kg}$) et de Lobith ($159 \mu\text{g/kg}$) constituent ici des pics de pollution. Dans le delta septentrional en revanche, les teneurs redescendent à env. $50 \mu\text{g/kg}$ dans le Lek et à hauteur de Rotterdam.

Fig. 3.6.8a: Somme des PCB (6 congénères) dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

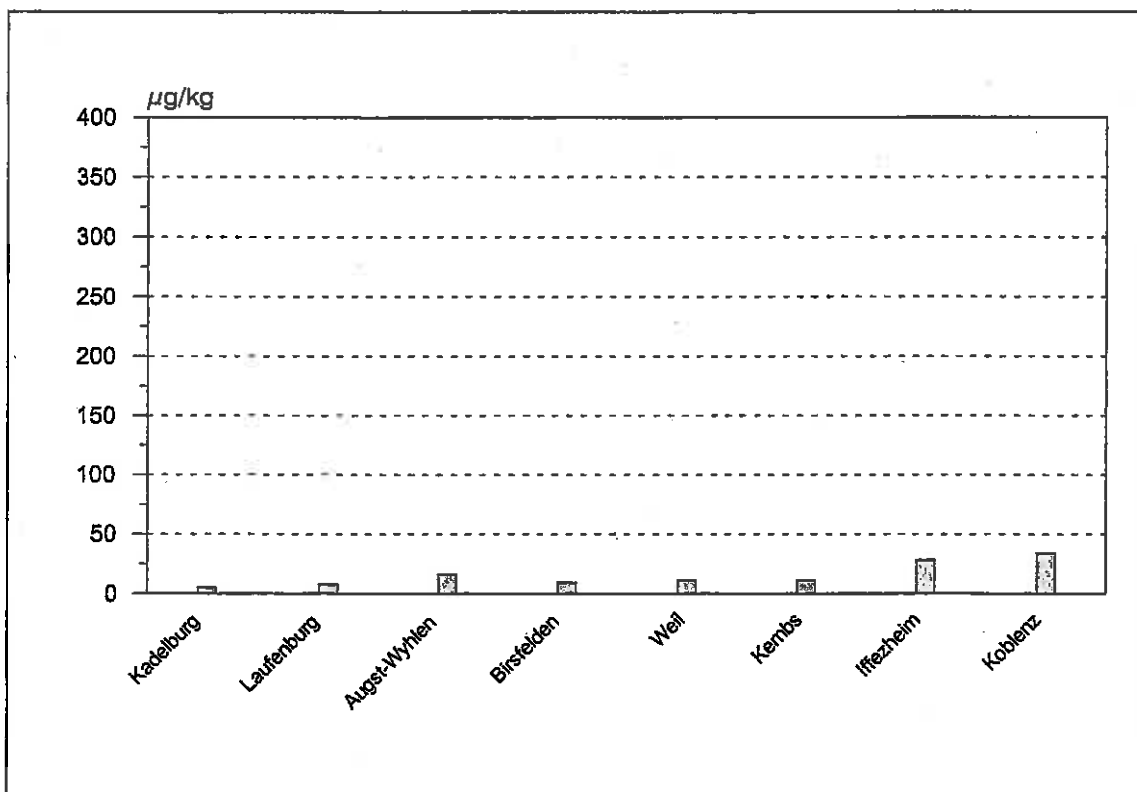


Fig. 3.6.8b: Somme des PCB (6 congénères) dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

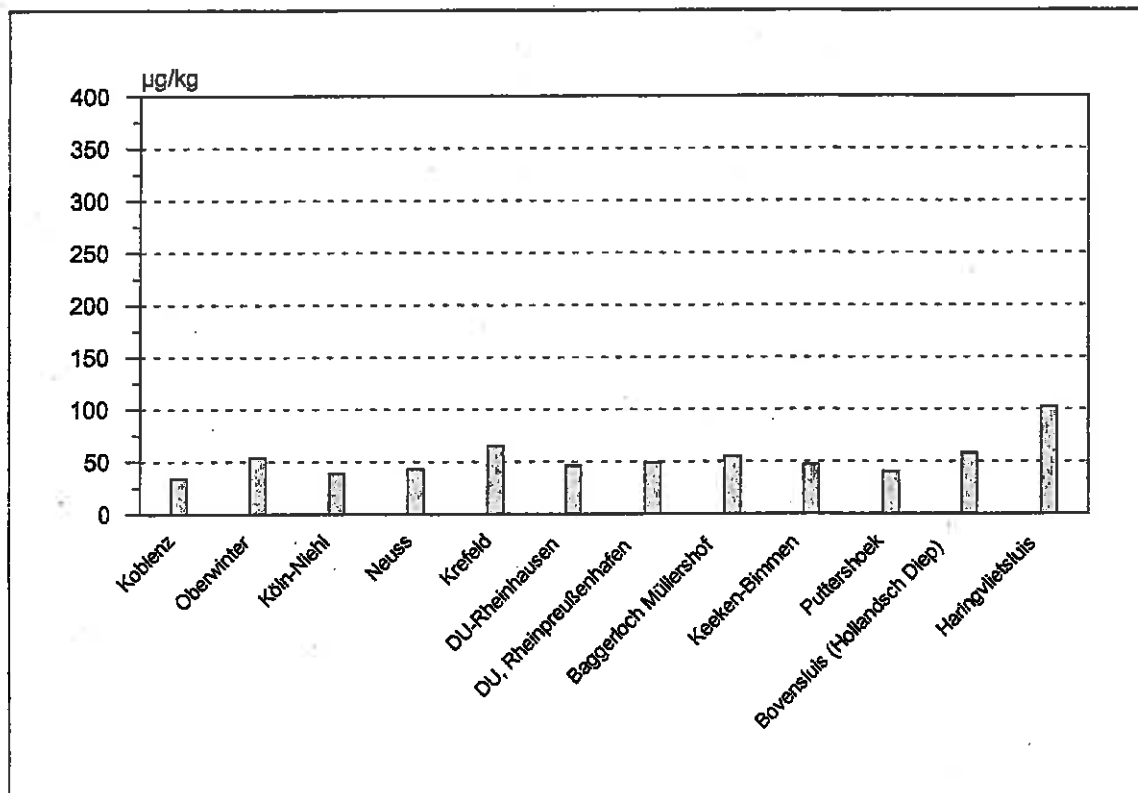
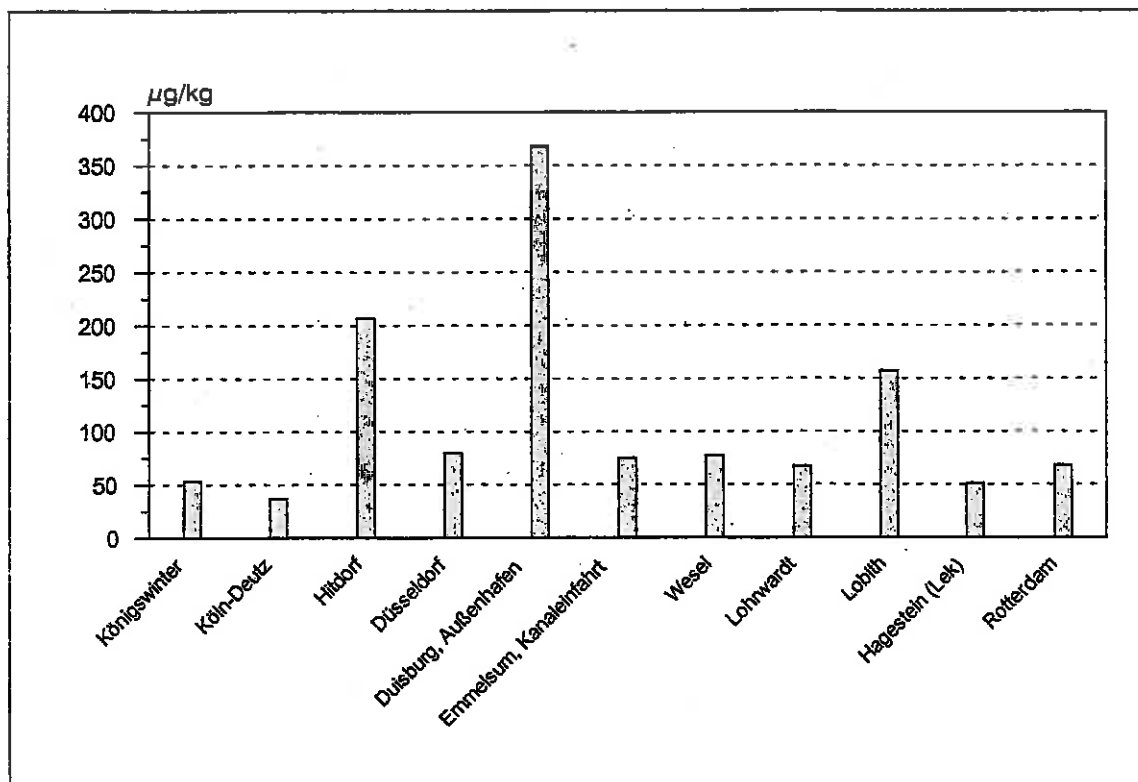


Fig. 3.6.8c: Somme des PCB (6 congénères) dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Sur le haut Rhin et le Rhin supérieur jusqu'à Kembs, les teneurs en PCB 28 sont en majeure partie inférieures à la limite analytique de dosage de 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$. D'Iffezheim à la gravière de Müllershof, les valeurs mesurées sur la rive gauche du Rhin évoluent pour la plupart autour de 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Elles progressent ensuite à partir de Keeken-Bimmen pour atteindre 14 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Haringvlietsluis dans le delta méridional. Sur la rive droite du Rhin inférieur, les teneurs subissent des variations plus prononcées avec des pointes de pollution atteignant presque 40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans les stations de mesure d'Hitdorf et de Lobith. La teneur en PCB 28 est exceptionnellement faible au Duisburger Außenhafen, la forte contamination par les PCB étant ici essentiellement due aux congénères plus fortement chlorés PCB 138 et PCB 153. Le delta septentrional accuse des teneurs en PCB 28 de l'ordre de 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Fig. 3.6.9a: PCB 28 dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

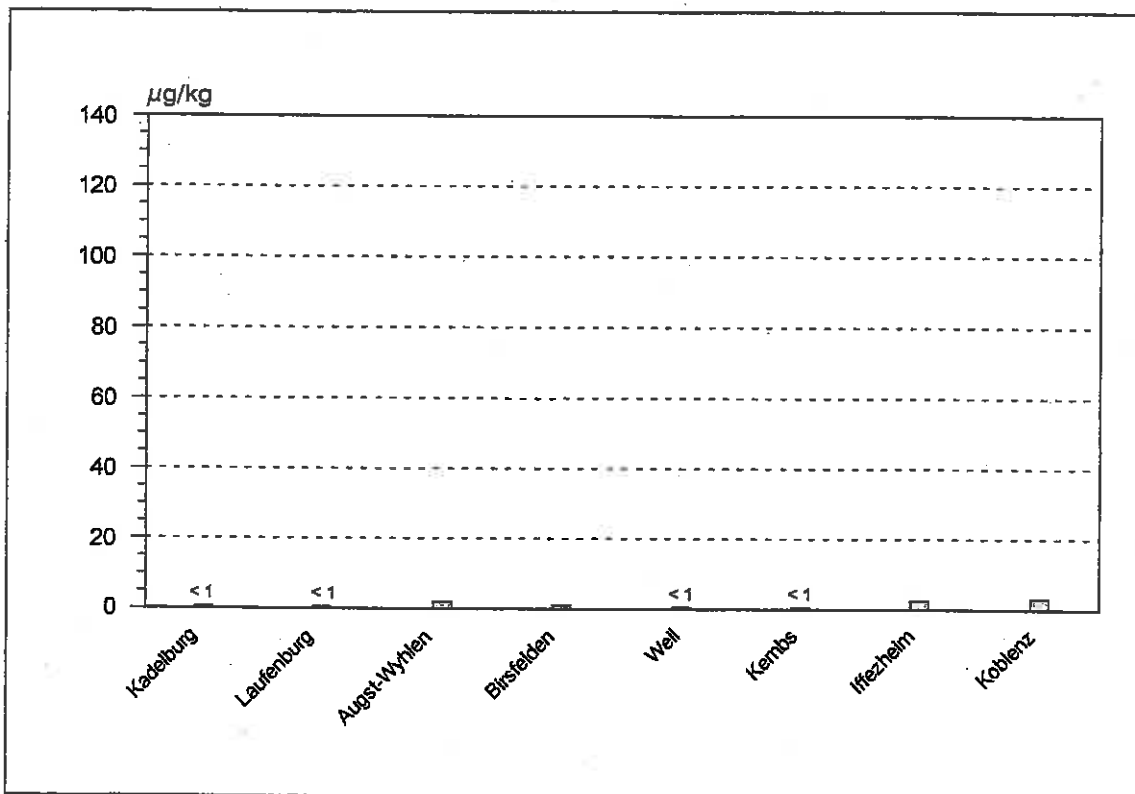


Fig. 3.6.9b: PCB 28 dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

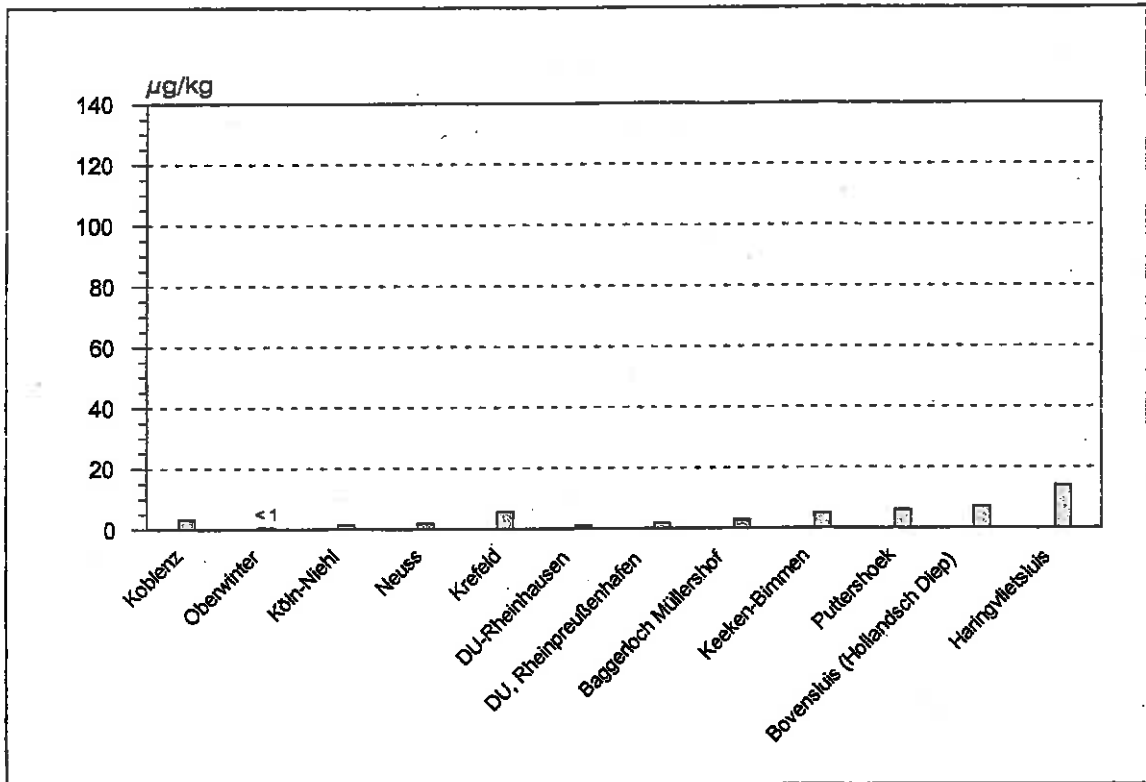
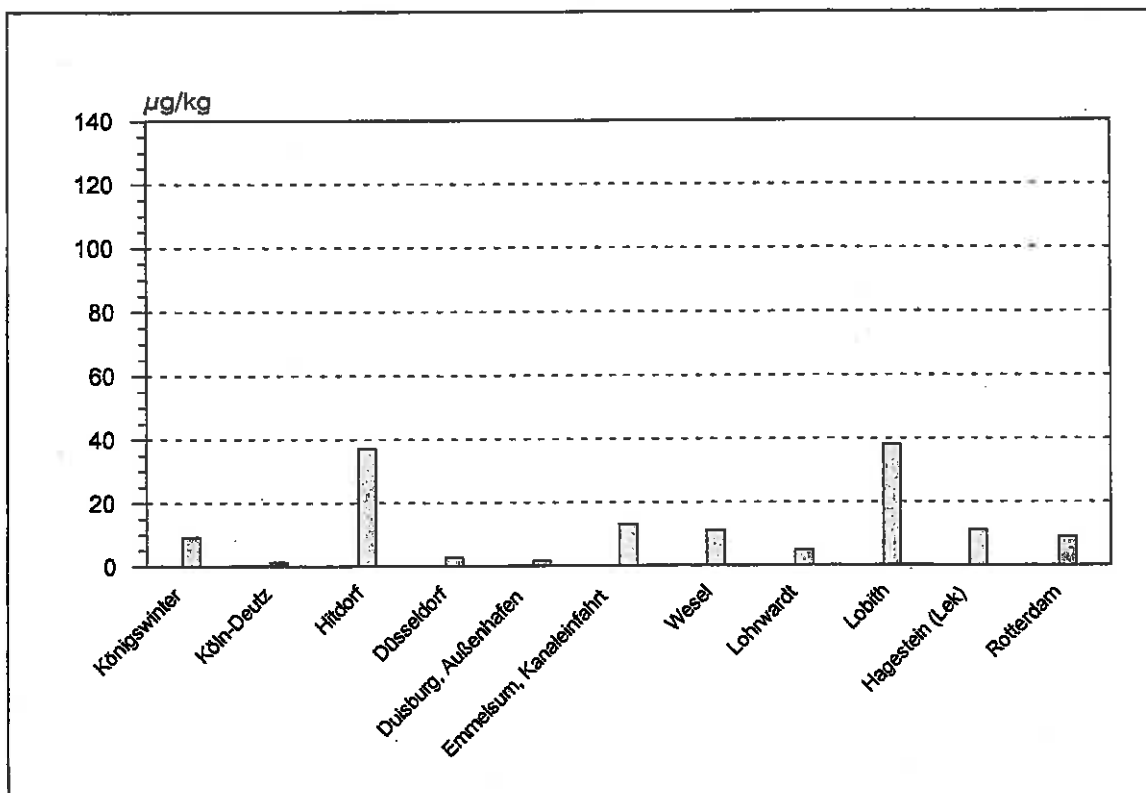


Fig. 3.6.9c: PCB 28 dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Les teneurs en PCB 52 ne sont inférieures à la limite analytique de dosage de $1 \mu\text{g}/\text{kg}$ que dans les stations de mesure de Kadelburg sur le haut Rhin et de Kembs sur le Rhin supérieur. Dans les autres stations du haut Rhin et du Rhin supérieur, les teneurs sont d'abord de l'ordre de $2 \mu\text{g}/\text{kg}$ et augmentent ensuite jusqu'à Iffezheim, où elles atteignent une valeur de $3,8 \mu\text{g}/\text{kg}$. Par la suite, les teneurs en PCB 52 se maintiennent à ce niveau sur la rive gauche du Rhin, à l'exception de celles détectées dans la station de mesure de Krefeld. A partir de Keeken-Bimmen, elles progressent à nouveau, atteignant 5 à $7 \mu\text{g}/\text{kg}$ dans le delta méridional. Enfin, la valeur maximale est obtenue à Haringvlietsluis avec une pointe de $19 \mu\text{g}/\text{kg}$

Sur la rive droite du Rhin inférieur, on constate à nouveau des fluctuations importantes avec des pics de contamination de $30 \mu\text{g}/\text{kg}$ dans la station d'Hitdorf et de $21 \mu\text{g}/\text{kg}$ dans celle de Lobith. Les teneurs sont par contre à nouveau nettement inférieures à $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ dans le delta septentrional.

Fig. 3.6.10a: PCB 52 dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

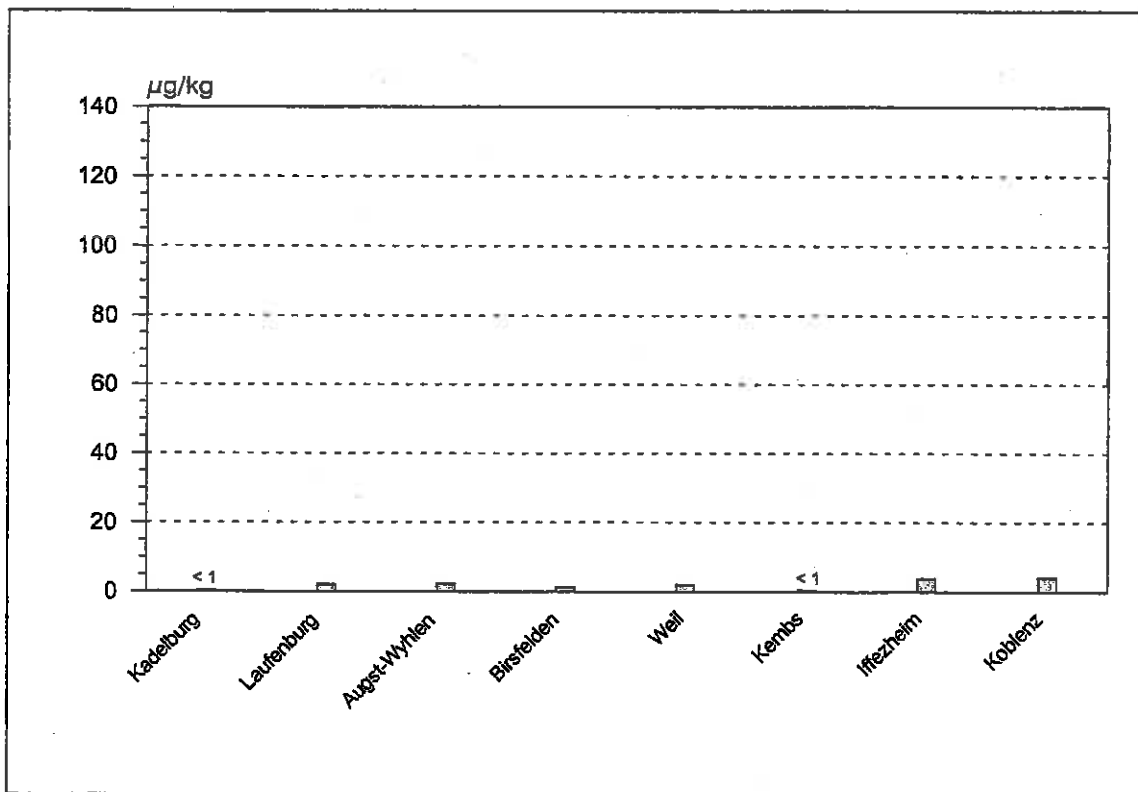


Fig. 3.6.10b: PCB 52 dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

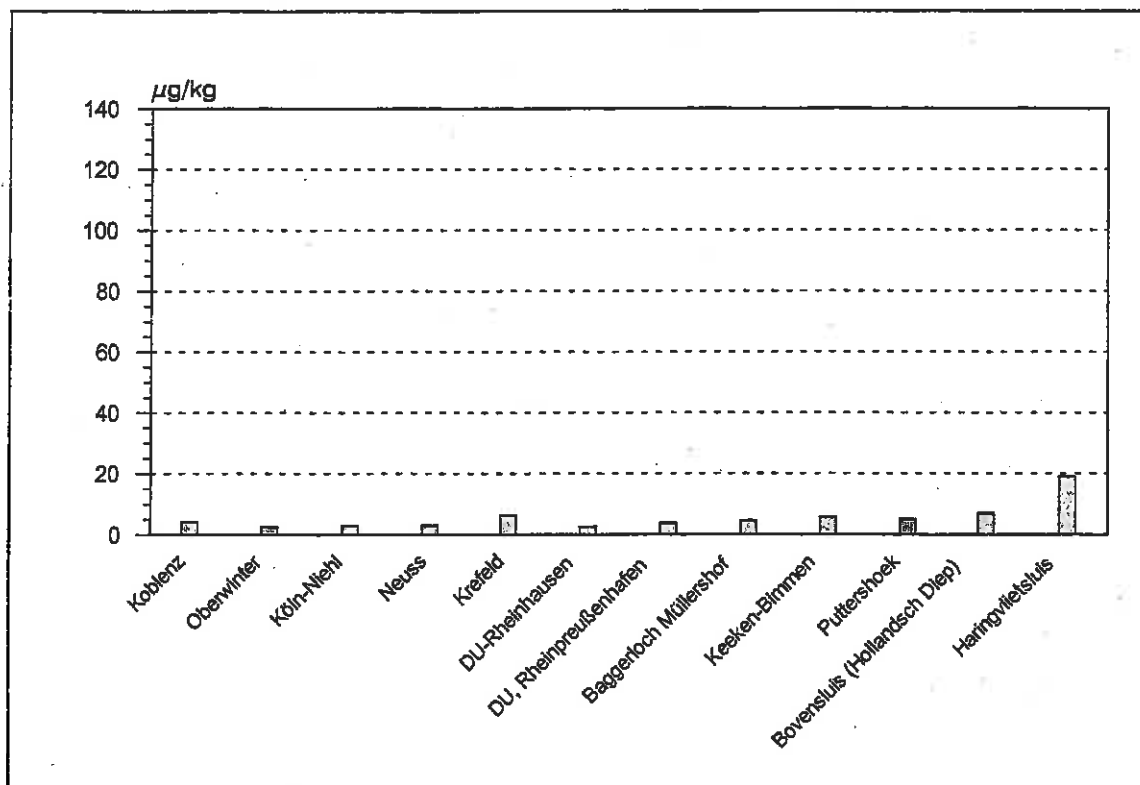
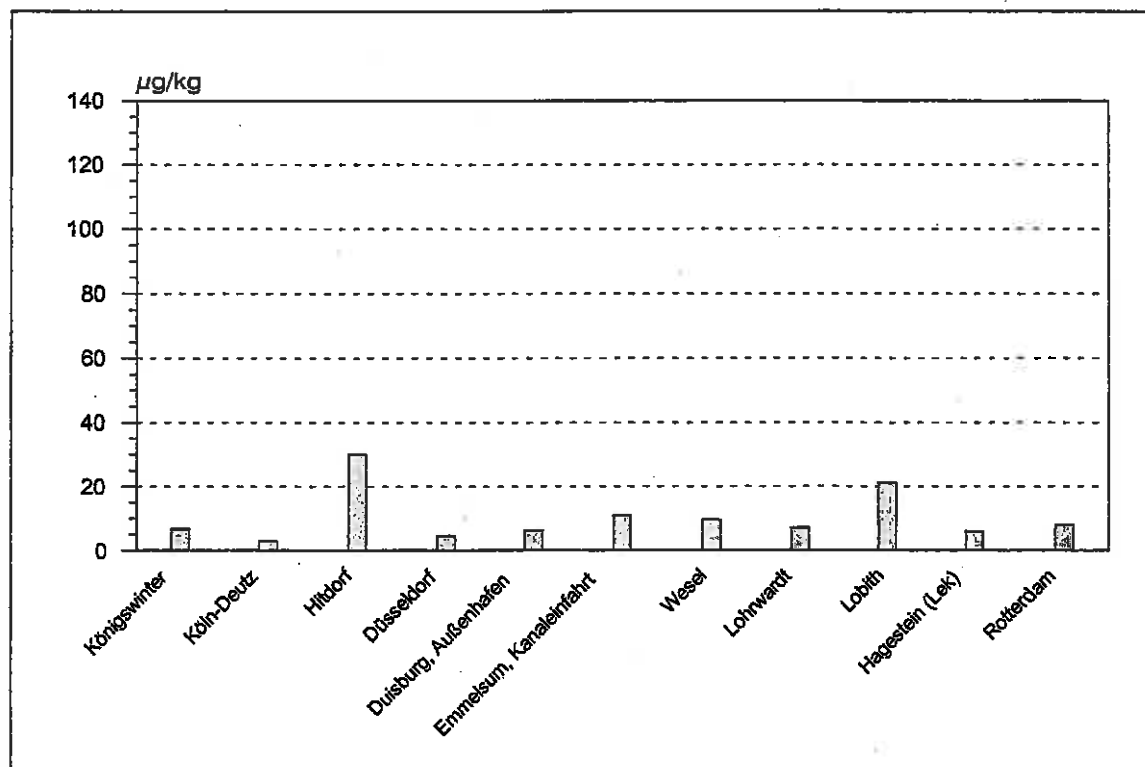


Fig. 3.6.10c: PCB 52 dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Kadelburg et Laufenburg, les deux stations du haut Rhin les plus en amont, ne présentent aucune pollution par le PCB 101. A partir d'Augst-Wyhlen et jusqu'à Kembs, les teneurs sont de l'ordre de 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Elles progressent ensuite vers l'aval, atteignant 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Coblenze. On note également une progression constante jusqu'à 8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ sur la rive gauche du Rhin inférieur, à l'exception de la station de Krefeld où la contamination est un peu plus élevée. Les teneurs en PCB 101 continuent à augmenter dans le delta méridional pour atteindre 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Haringvlietsluis.

Alors que les stations de mesure de Königswinter et Köln-Deutz, situées rive droite, ont des teneurs analogues à celles de Coblenze, la contamination monte à 11 –12 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à partir de Düsseldorf. Ici également, les pics de pollution sont constatés dans les stations d'Hitdorf et de Lobith et, dans le cas des congénères plus fortement chlorés, au Duisburger Außenhafen (45 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Dans le delta septentrional, les teneurs en PCB 101 sont de l'ordre de 8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Hagestein sur le Lek et de 13 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à hauteur de Rotterdam.

Fig. 3.6.11a: PCB 101 dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenze

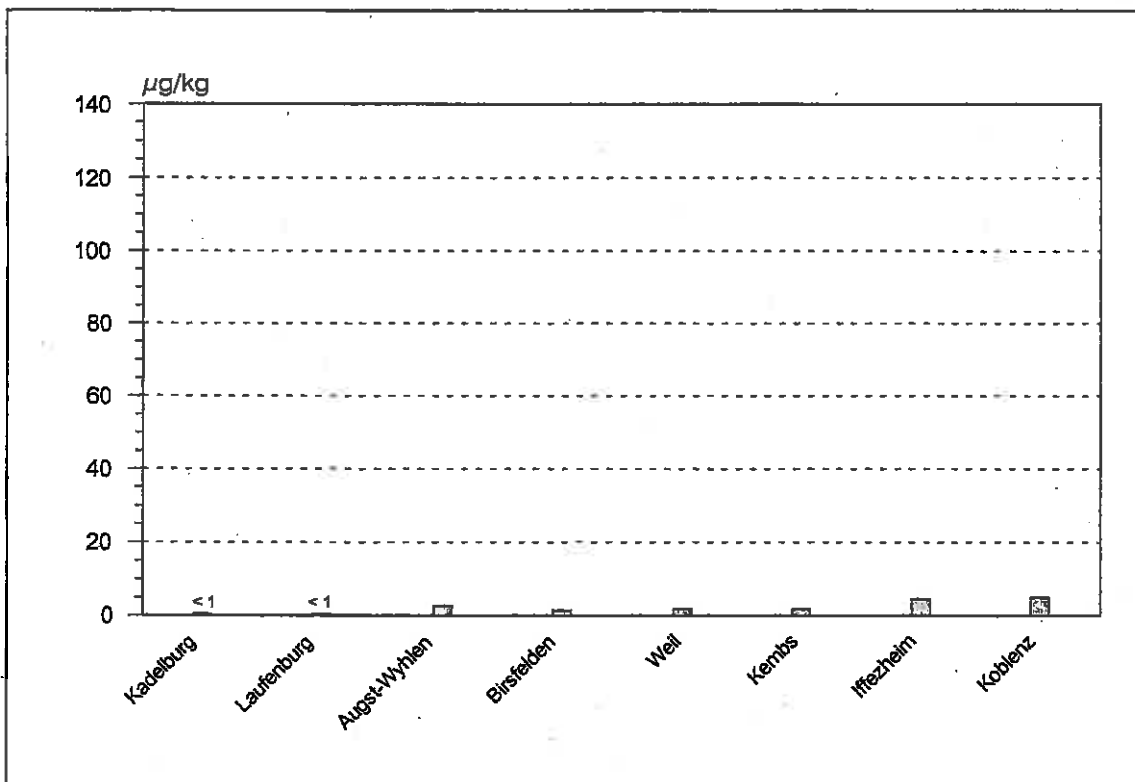


Fig. 3.6.11b: PCB 101 dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

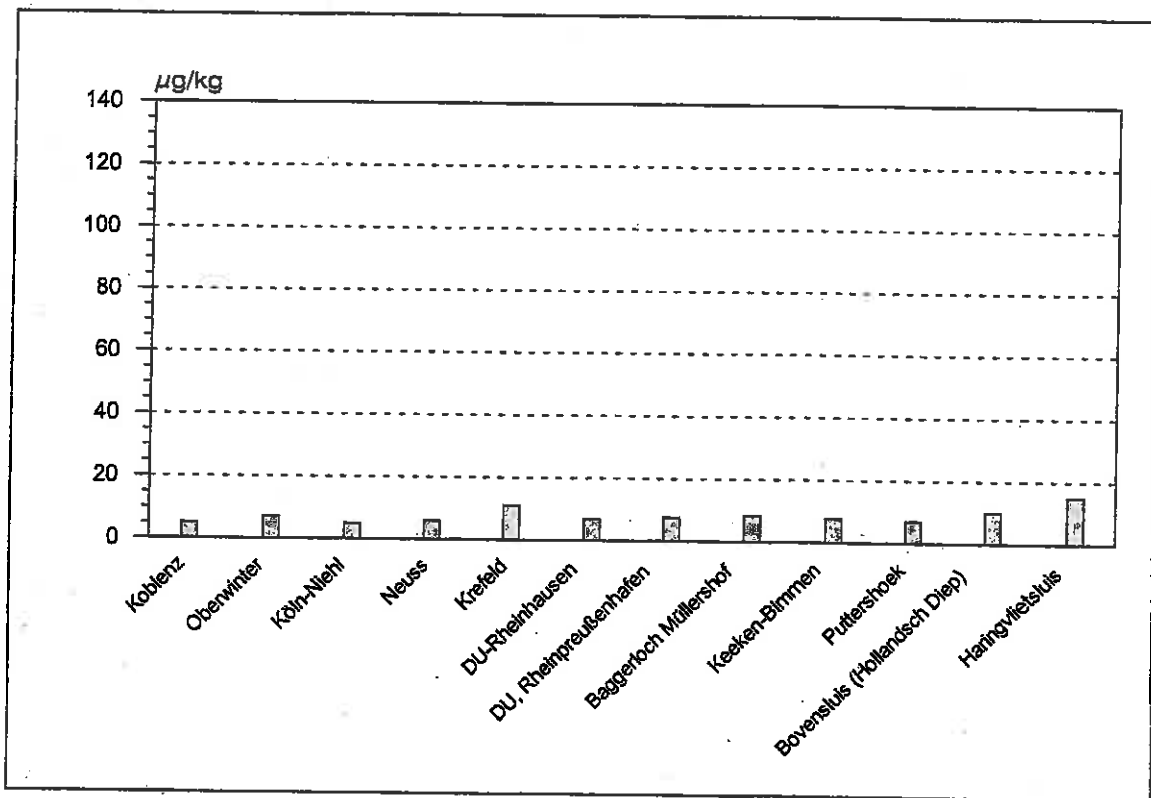
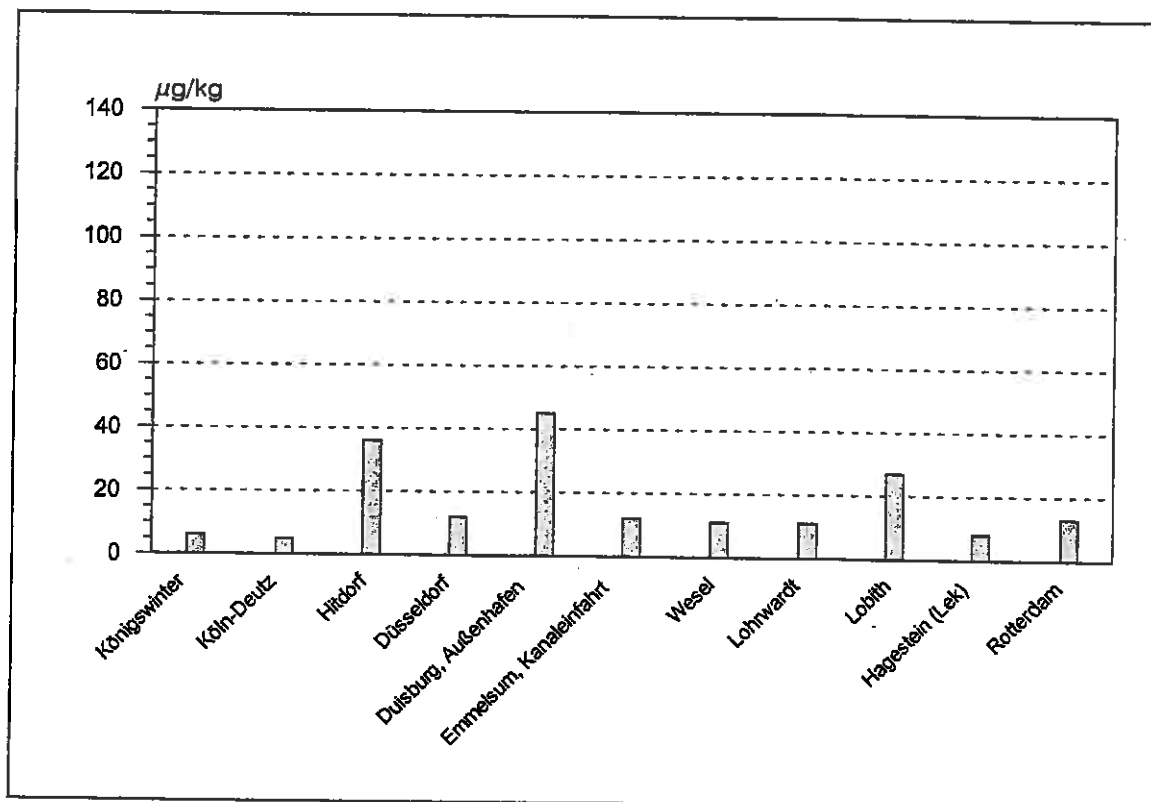


Fig. 3.6.11c: PCB 101 dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Jusqu'à Kembs, les stations de mesure du haut Rhin et du Rhin supérieur ne sont pas ou ne sont que faiblement contaminées par le PCB 118. D'Iffezheim à Neuss, sur la rive gauche du Rhin inférieur, on note des teneurs d'env. 3 µg/kg. Elles sont ensuite de l'ordre de 5 µg/kg entre Duisburg-Rheinhausen et Hollandsch Diep. Avec une valeur atteignant juste 10 µg/kg, on obtient la pollution maximale à Haringvlietsluis dans le delta méridional.

Sur la rive droite du Rhin inférieur, les teneurs en PCB 118 varient entre 2,1 µg/kg à Köln-Deutz et 21 µg/kg à Hitdorf, alors que le delta septentrional présente des concentrations comparables à celles du delta méridional.

Fig. 3.6.12a: PCB 118 dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

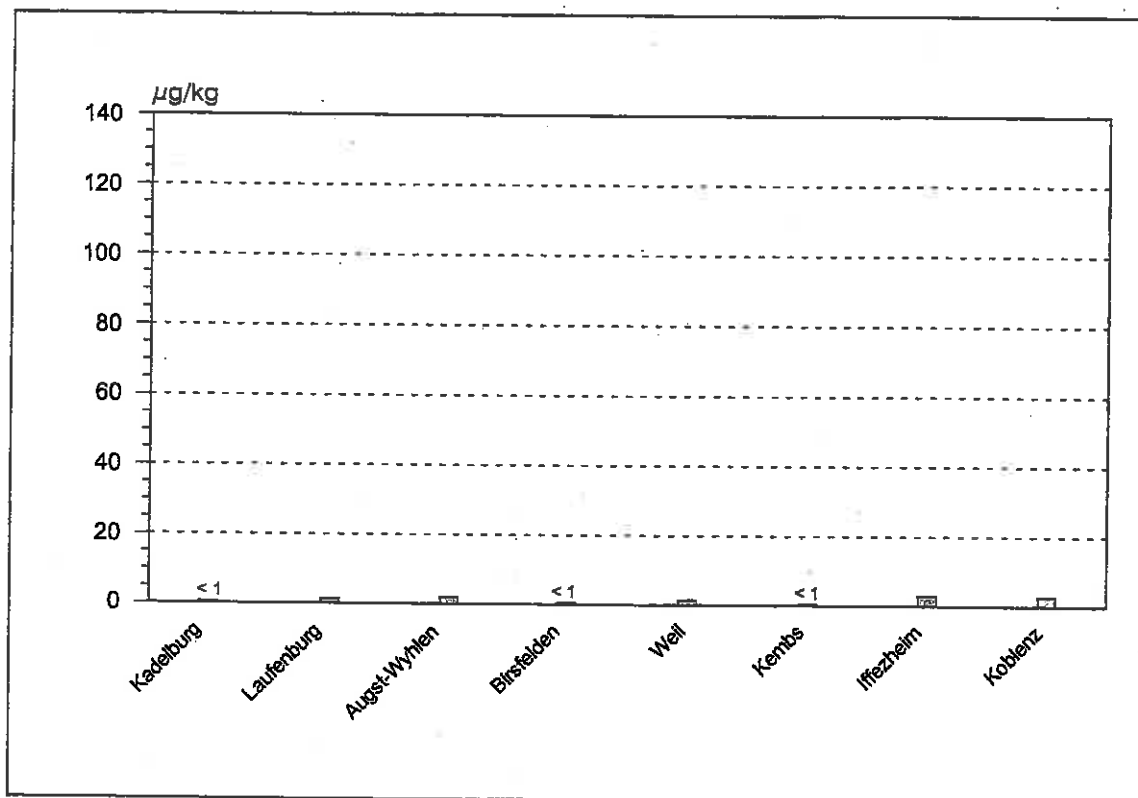


Fig. 3.6.12b: PCB 118 dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

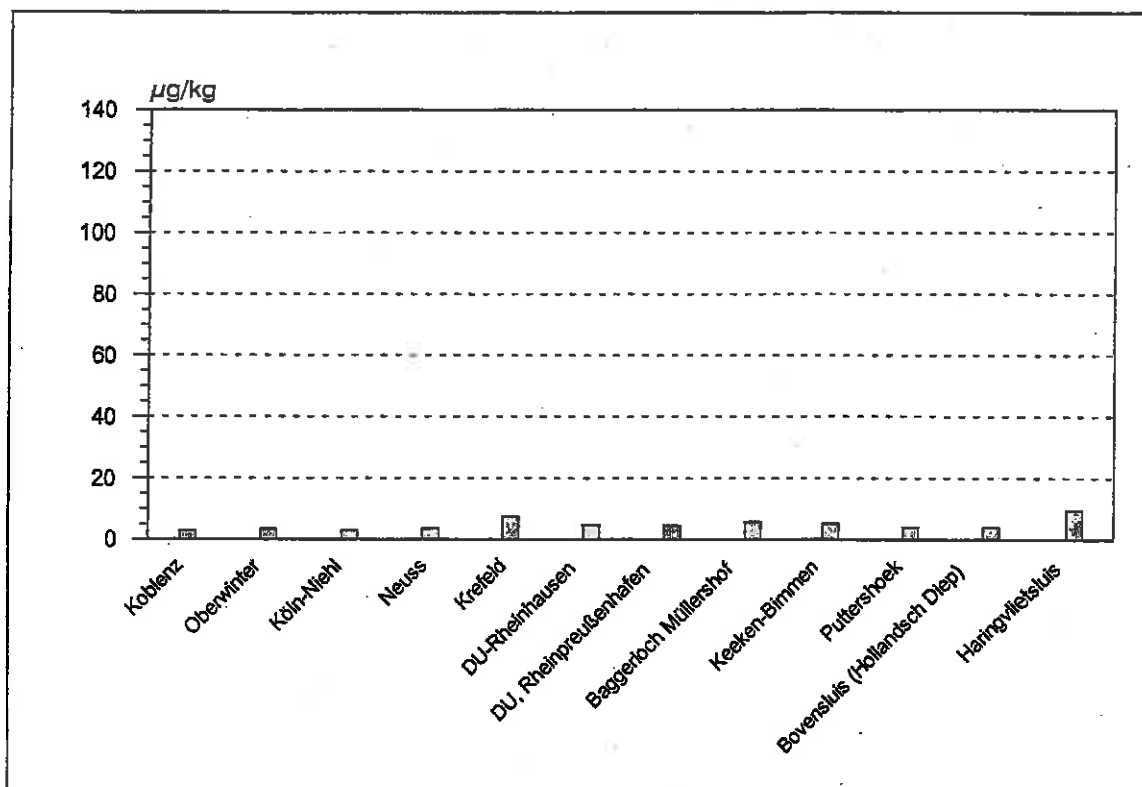
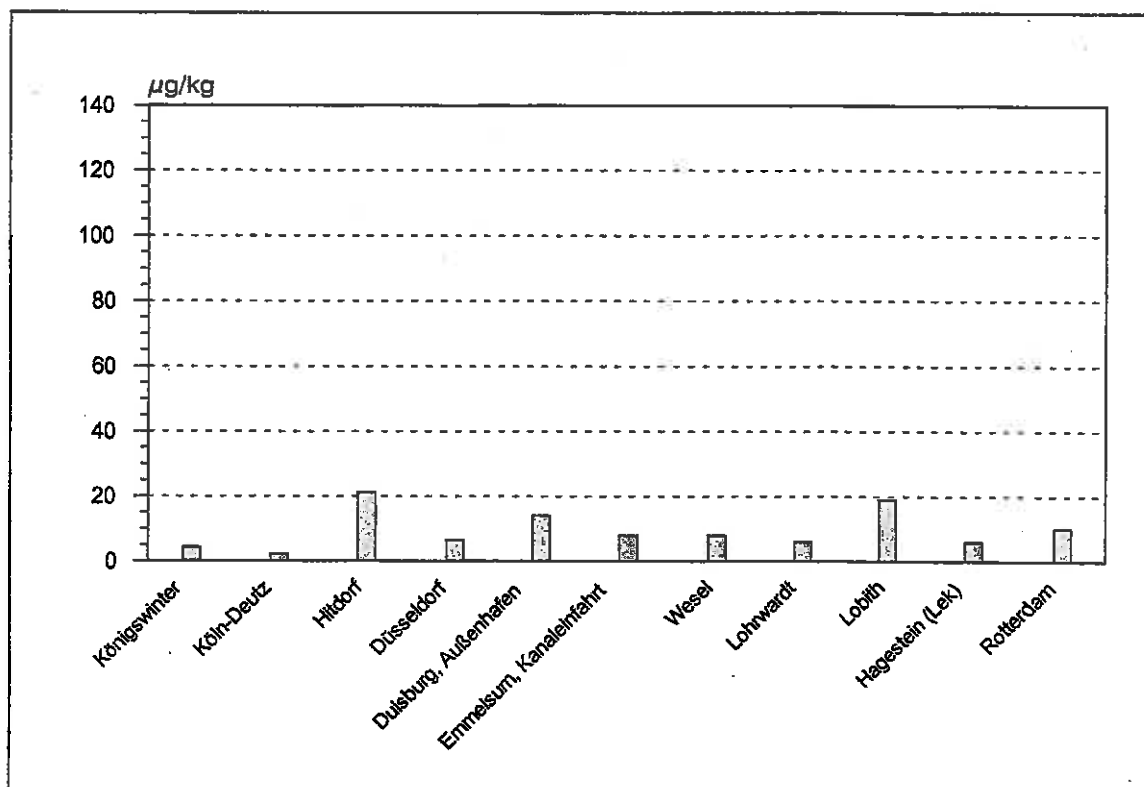


Fig. 3.6.12c: PCB 118 dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Partant de valeurs inférieures à 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Kadelburg et Laufenburg, les teneurs en PCB 138 montent à 2 - 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans la zone de Bâle et poursuivent leur progression à Iffezheim et Coblenz, où elles atteignent 8,1 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Sur la rive gauche du Rhin inférieur, la contamination, de l'ordre de 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$, est sujette à des fluctuations. A partir de Keeken-Bimmen cependant, elle amorce une baisse et retombe à 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans le Hollandsch Diep. La teneur maximale dans cette zone est à nouveau détectée à Haringvlietsluis avec une valeur de 18 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Sur la rive droite du Rhin inférieur, le pic de pollution est atteint au Duisburger Außenhafen avec une valeur de pointe de 112 $\mu\text{g}/\text{kg}$. A Hitdorf, la teneur en PCB 138 atteint 39 $\mu\text{g}/\text{kg}$ et est également nettement supérieure à celle des autres stations de mesure, y compris celle de Lobith. Les teneurs mesurées dans le delta septentrional sont comparables à celles de la zone méridionale.

Fig. 3.6.13a: PCB 138 dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

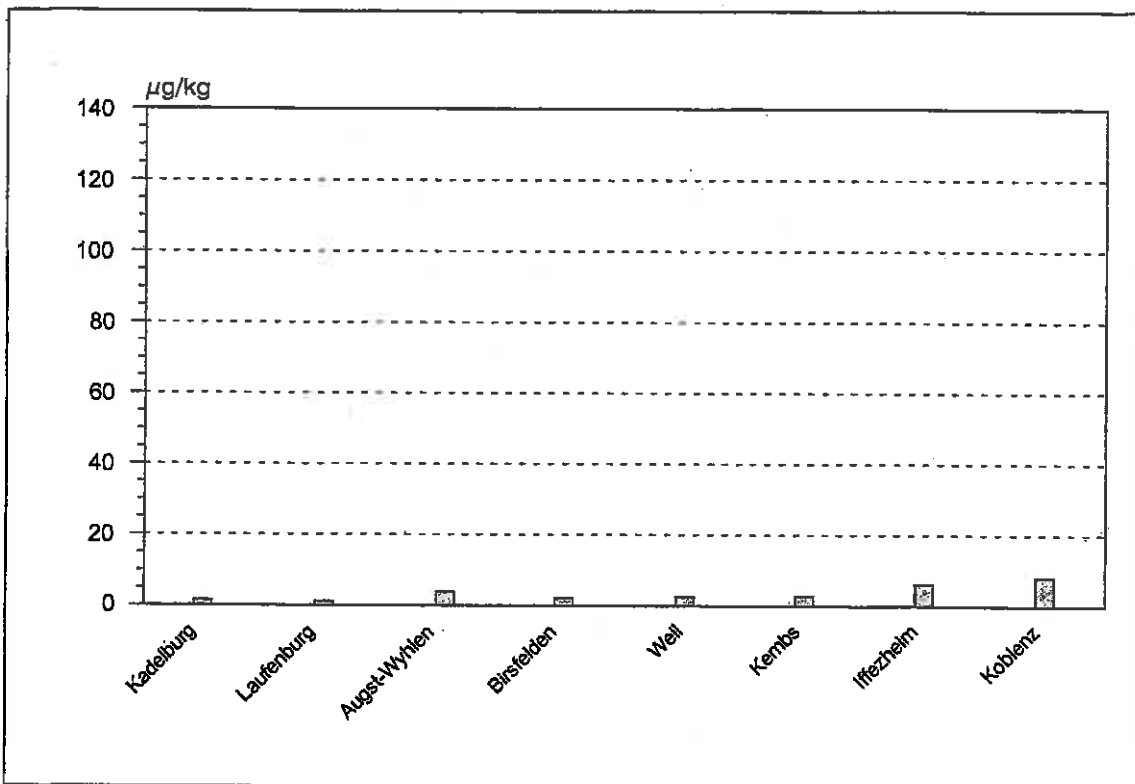


Fig. 3.6.13b: PCB 138 dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

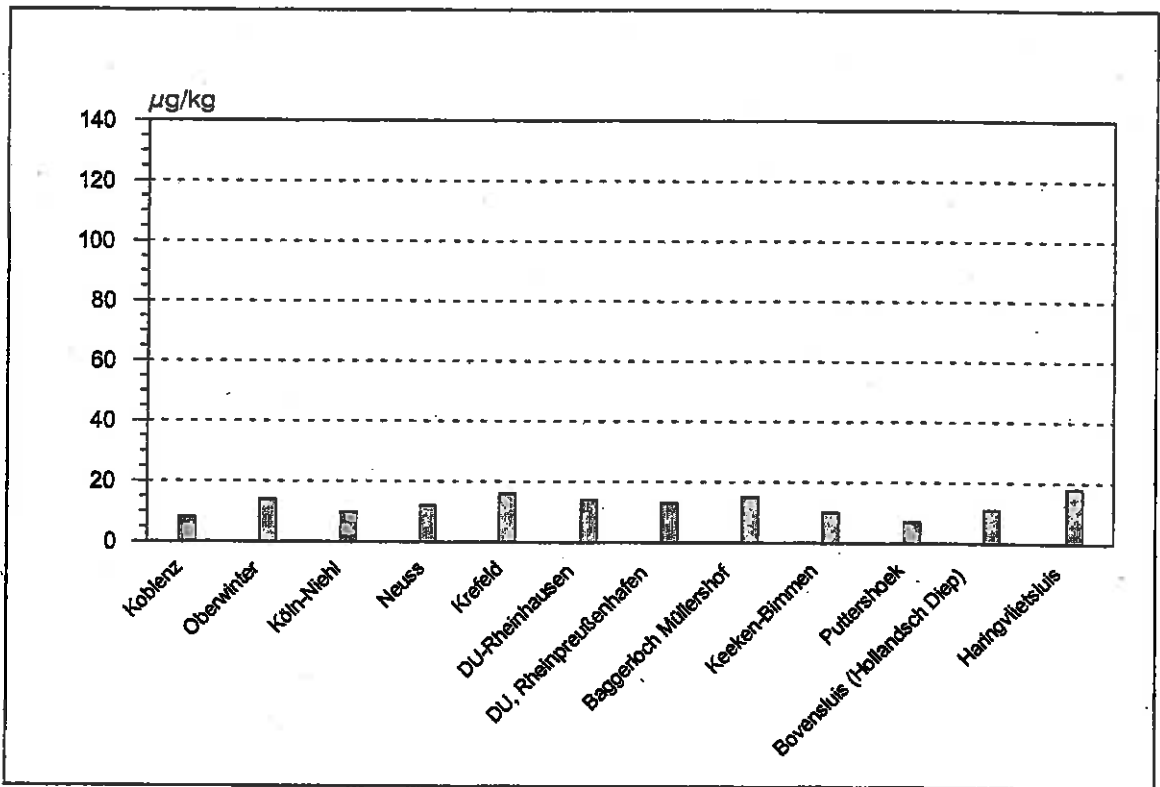
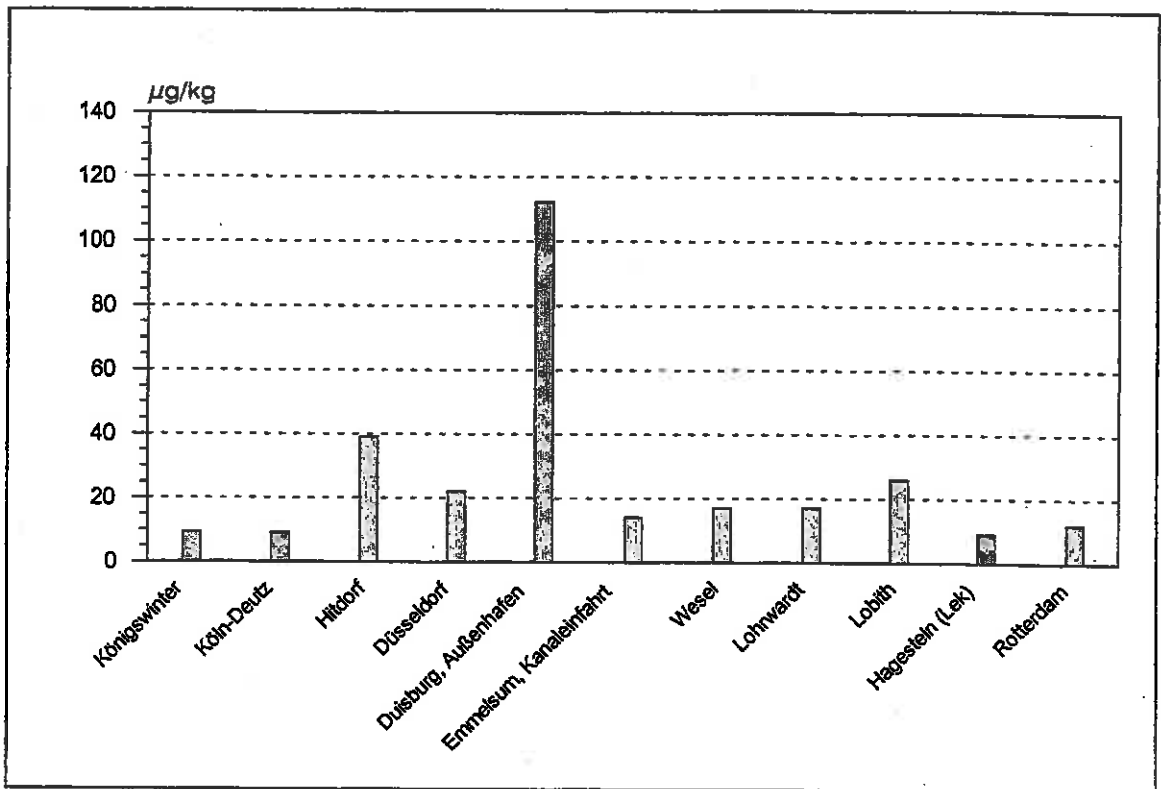


Fig. 3.6.13c: PCB 138 dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



L'évolution des teneurs en PCB 153 sur le profil longitudinal du Rhin est pratiquement identique à celle du PCB 138, à ceci près que les valeurs sont de 10 à 20 % supérieures. Sur le haut Rhin et le Rhin supérieur jusqu'à Kembs, on note des teneurs d'env. 3 µg/kg qui augmentent ensuite à Iffezheim et à Coblenz où elles atteignent 9 µg/kg. A Oberwinter, sur la rive gauche, on relève une hausse supplémentaire jusqu'à 18 µg/kg, ce niveau se maintenant à 15 µg/kg avec certaines fluctuations jusqu'au Hollandsch Diep dans le delta méridional. La contamination par le PCB 153 progresse encore à Haringvlietsluis avec une valeur de 25 µg/kg.

Sur la rive droite, la concentration de PCB 153 s'élève d'abord à 12 µg/kg à Königswinter et Köln-Deutz. Une fois de plus, les pics de pollution sont atteints à Hitdorf avec 48 µg/kg, au Duisburger Außenhafen avec 128 µg/kg, et à Lobith avec 33 µg/kg. La contamination moyenne dans les autres stations de mesure de la rive droite du Rhin inférieur est d'environ 20 µg/kg. Dans le delta septentrional, les teneurs retombent à 11 µg/kg à Hagestein sur le Lek et à 17 µg/kg à Rotterdam.

Fig. 3.6.14a: PCB 153 dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

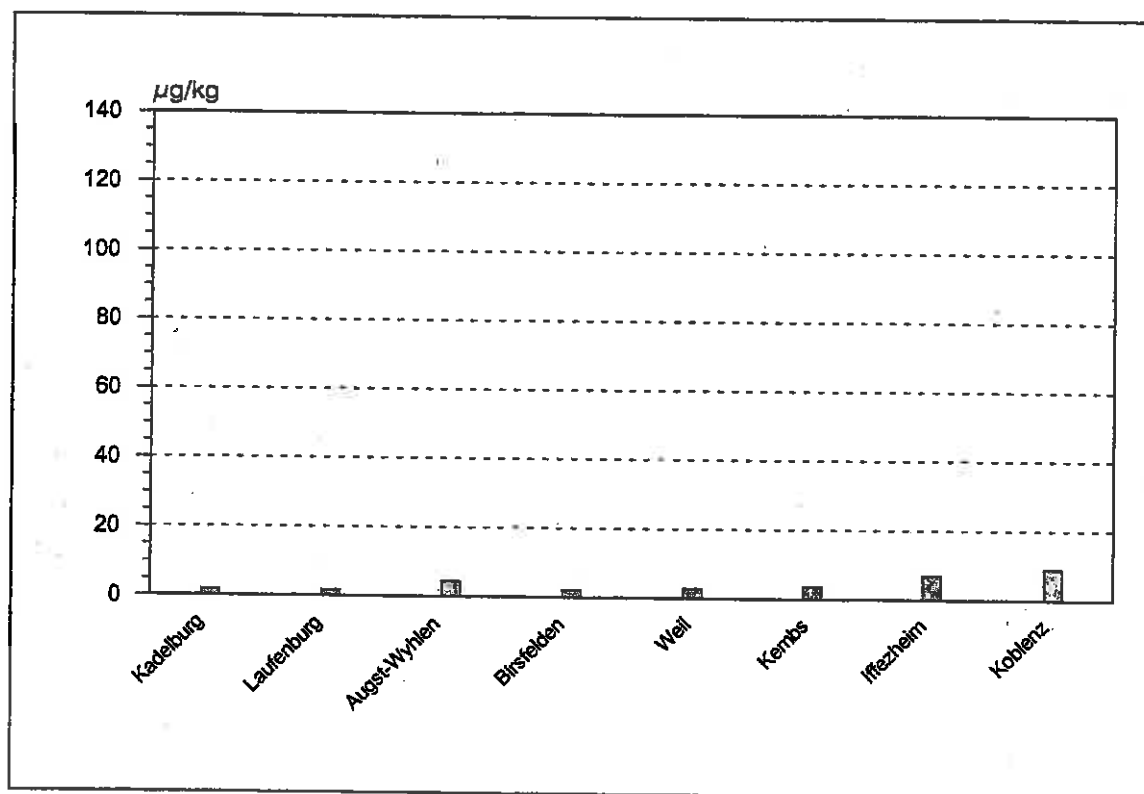


Fig. 3.6.14b: PCB 153 dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenche et le delta, rive gauche

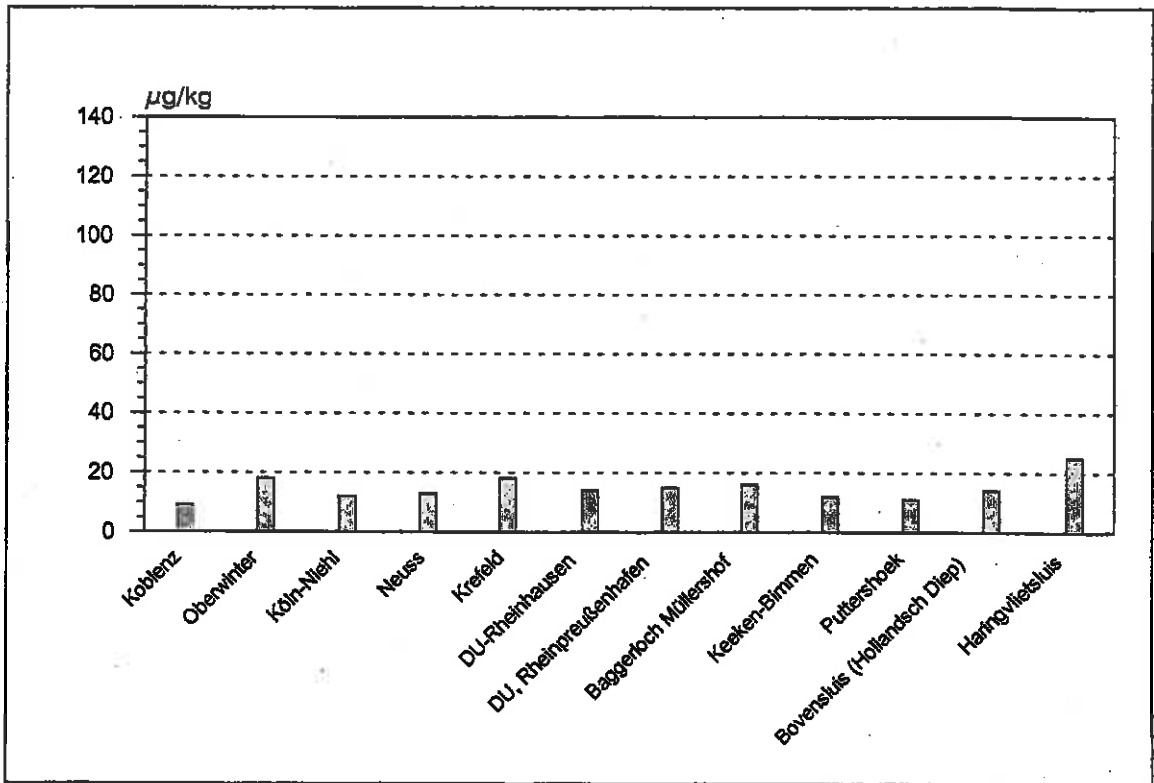
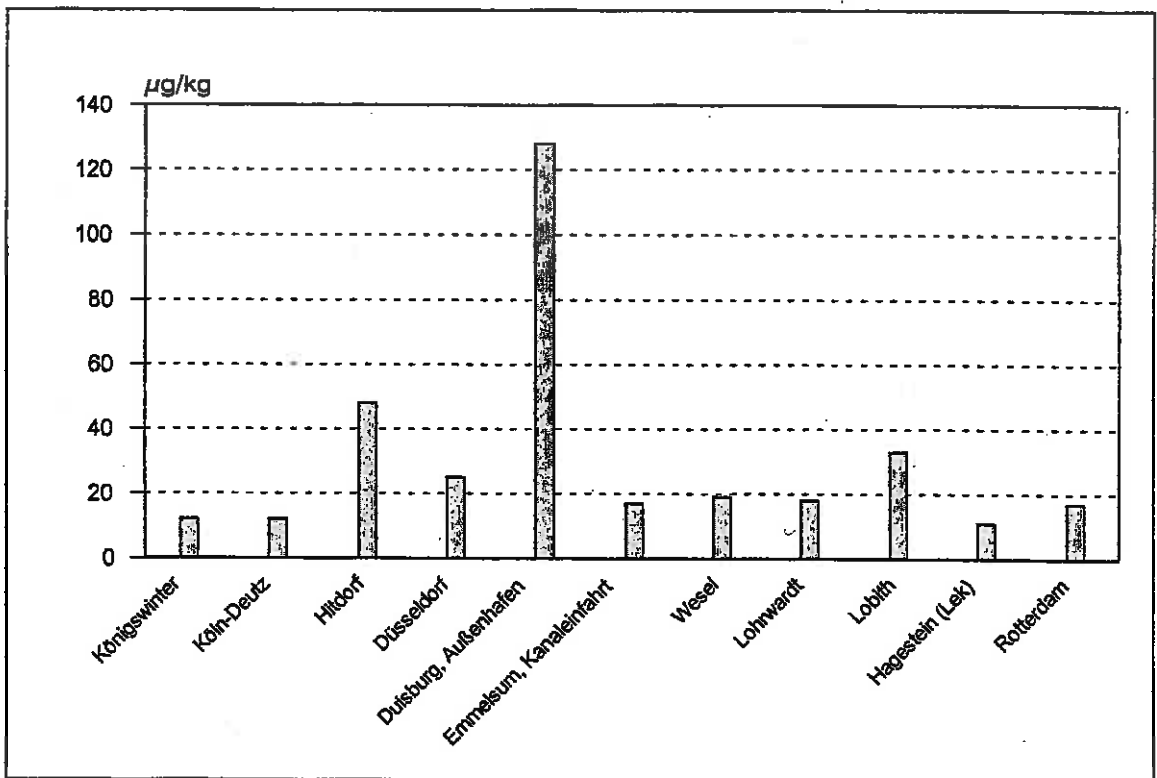


Fig. 3.6.14c: PCB 153 dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Comme pour presque tous les composés organochlorés, la station de mesure de Kadelburg n'est pas polluée par le PCB 180. Le tronçon allant de Laufenburg sur le haut Rhin à Kembs sur le Rhin supérieur fait apparaître des valeurs de l'ordre de 2 µg/kg. On constate ensuite une progression du PCB 180 avec une teneur de 4,9 µg/kg à Coblenz. Cette hausse se poursuit après l'entrée en Rhénanie-du-Nord-Westphalie avec 12 µg/kg à Oberwinter et 9,9 µg/kg à Königswinter. Sur la rive gauche du Rhin inférieur, les teneurs gravitent autour de 8 µg/kg sur l'ensemble du cours jusqu'à la frontière germano-néerlandaise. A l'opposé des autres congénères, le PCB 180 n'accuse qu'un seul pic de pollution, avec une valeur de 75 µg/kg au Duisburger Außenhafen, alors que les teneurs des stations de mesure d'Hitdorf et de Lobith ne sont que faiblement supérieures à la contamination moyenne.

Dans la zone deltaïque, la station de Puttershoek ne recèle qu'une faible concentration de 4 µg/kg. Les autres stations de mesure situées dans le delta méridional et septentrional présentent quant à elles des teneurs comparables à celles de la rive gauche du Rhin inférieur.

Fig. 3.6.15a: PCB 180 dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

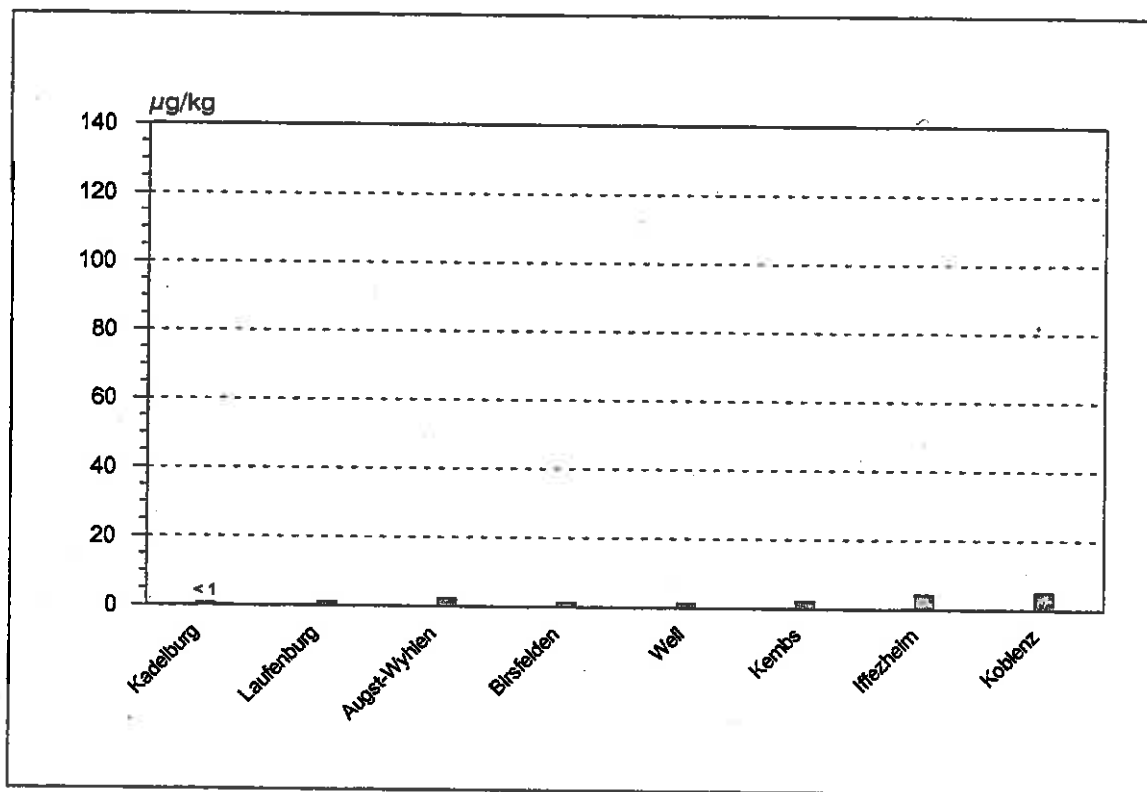


Fig. 3.6.15b: PCB 180 dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

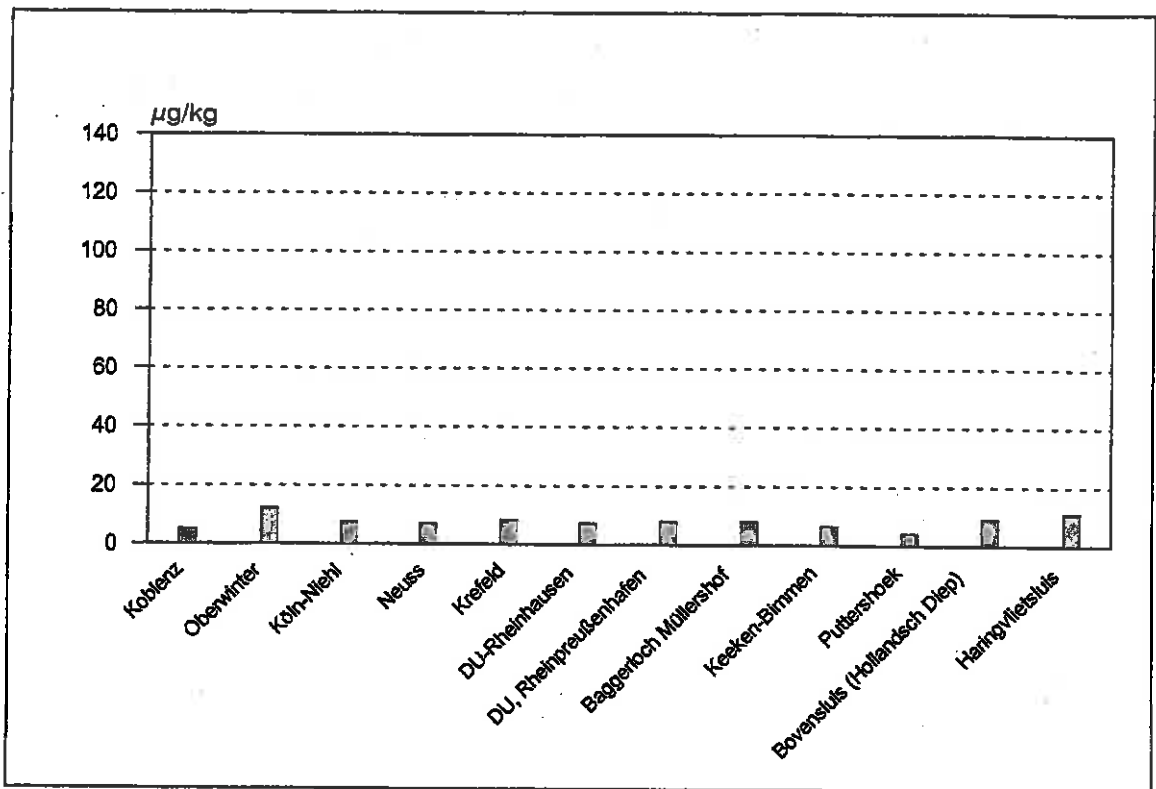
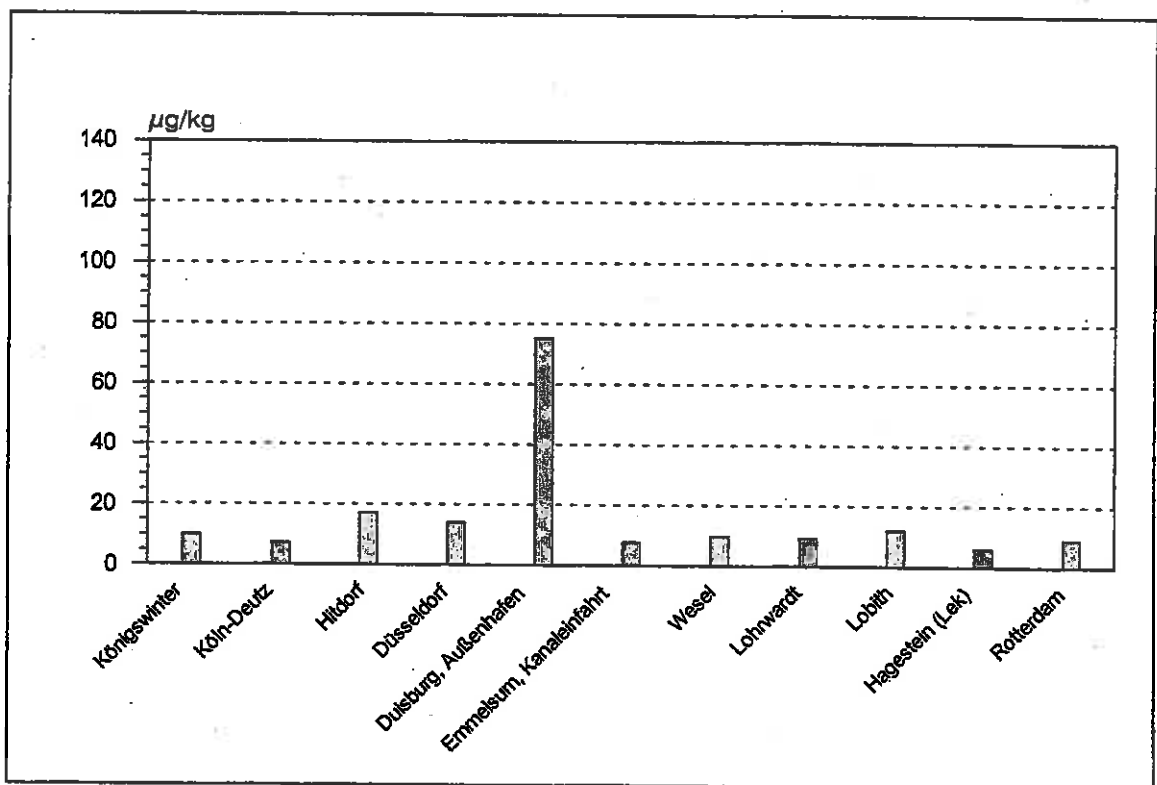


Fig. 3.6.15c: PCB 180 dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.6.3 Dibenzo-p-dioxines et dibenzo-furanes polychlorés (PCDD/F)

En règle générale, les teneurs en PCDD/F sont exprimées en équivalents de toxicité internationaux (ITEQ). On calcule à cet effet la somme des congénères des PCDD/F avec des atomes chlorés dans la combinaison 2,3,7,8 en appliquant un facteur 1 pour la dioxine dite de „Seveso“ (2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine) et un facteur plus faible pour tous les autres congénères en fonction de leur toxicité, ce facteur pouvant descendre jusqu'à 0,001 pour les composés octachlorés (tableau 3.1). Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de dosage, on prend la valeur de la limite de dosage pour calculer l'ITEQ.

Tableau 3.1: Calcul des équivalents de toxicité internationaux

PCDD/PCDF	Facteur
2,3,7,8-tétraCDD	1,0
1,2,3,7,8-pentaCDD	0,5
1,2,3,4,7,8-hexaCDD	0,1
1,2,3,6,7,8-hexaCDD	0,1
1,2,3,7,8,9-hexaCDD	0,1
1,2,3,4,6,7,8-heptaCDD	0,01
octaCDD	0,001
2,3,7,8-tétraCDF	0,1
1,2,3,7,8-pentaCDF	0,05
2,3,4,7,8-pentaCDF	0,5
1,2,3,4,7,8-hexaCDF	0,1
1,2,3,6,7,8-hexaCDF	0,1
1,2,3,7,8,9-hexaCDF	0,1
2,3,4,6,7,8-hexaCDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8-heptaCDF	0,01
1,2,3,4,7,8,9-heptaCDF	0,01
octaCDF	0,001

Dans les stations de mesure de Kadelburg, Laufenburg et Birsfelden, situées sur le haut Rhin, les valeurs ITEQ obtenues sont inférieures à la limite de dosage, ce qui est dû dans certains cas au manque d'échantillons en quantité suffisante. Cependant, en regard des teneurs comparativement très faibles des congénères entièrement chlorés, on peut partir du principe que les concentrations des représentants les plus toxiques de cette catégorie de substances sont très faibles ou inférieures à la limite de dosage théoriquement accessible.

A l'exception d'Augst-Wyhlen (11 ng/kg ITEQ), les teneurs en dioxines sont inférieures à 10 ng/kg (voir plus haut) dans le haut Rhin. Dans le Rhin supérieur, la contamination monte à 25 - 30 ng/kg à partir de Weil et se maintient à ce niveau jusqu'à la gravière de Müllershof sur la rive gauche du Rhin inférieur, hormis à la station d'Oberwinter, située sur le Rhin moyen, où la pollution est nettement plus faible. A Keeken-Bimmen, la teneur en dioxines enregistre à nouveau une nette augmentation et atteint 63 ng/kg ITEQ. Les concentrations sont à peine en dessous de cette valeur dans le delta méridional à hauteur des stations de mesure de Bovenluis dans le Hollandsch Diep et de Haringvlietsluis.

Sur la rive droite, la contamination par les dioxines déjà présente dans le Rhin supérieur ne se maintient que jusqu'à Königswinter. Entre Hitdorf, avec 38 ng/kg ITEQ, et l'entrée du canal Wesel-Datteln à hauteur d'Emmelsum, avec 55 ng/kg ITEQ, la teneur en dioxines augmente et atteint finalement un pic de 73 ng/kg à Lobith. Ce niveau se maintient jusqu'à Rotterdam dans le delta septentrional.

Les dioxines sont les seules substances prioritaires pour lesquelles des objectifs de référence n'ont pas été déterminés jusqu'à présent. A titre d'orientation, on peut cependant faire référence à la valeur limite de 100 ng/kg ITEQ en vigueur en Suisse et en Allemagne pour le sable des aires de jeux pour enfants. La contamination par les dioxines est systématiquement inférieure à cette valeur, tant dans les stations internationales de mesure des sédiments que dans les stations correspondantes au niveau national.

Des analyses récentes réalisées par le LUA-NRW en 1997 ont montré que la contamination par les dioxines avait entre-temps chuté de 50 % dans le tronçon du Rhin traversant la Rhénanie-du-Nord-Westphalie.

Fig. 3.6.16a: „Dioxines“ dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

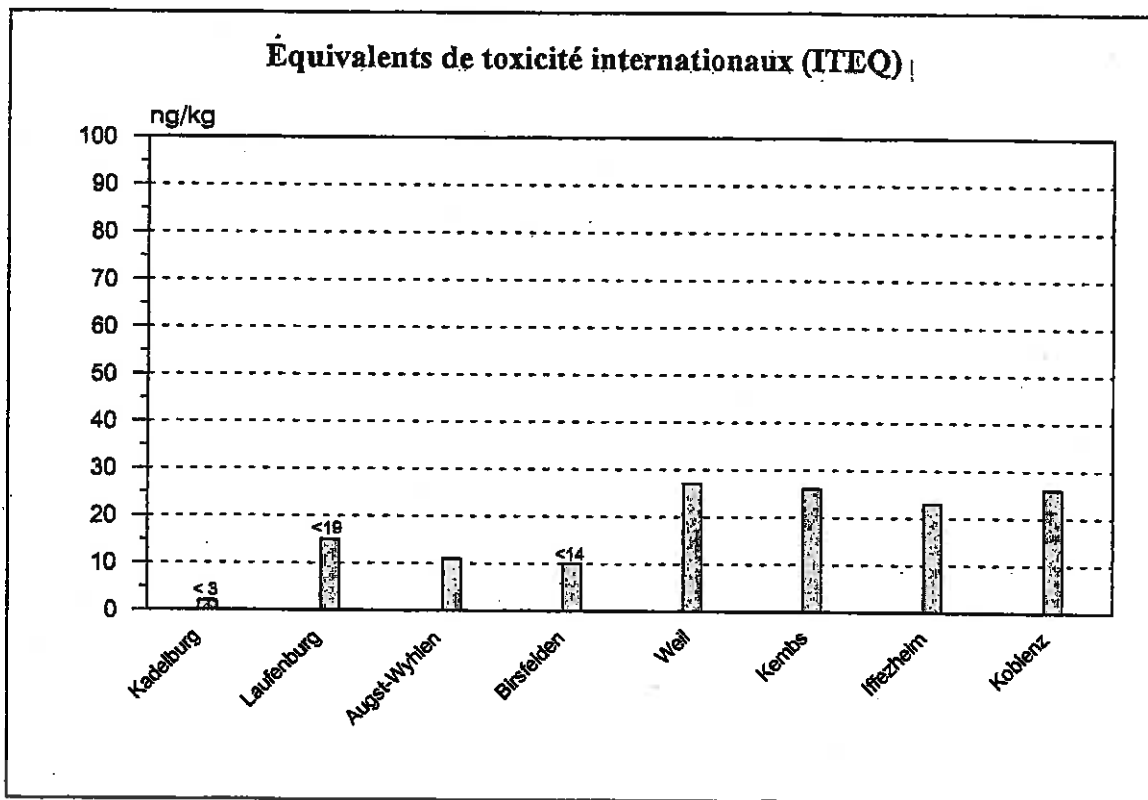


Fig. 3.6.16b: „Dioxines“ dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

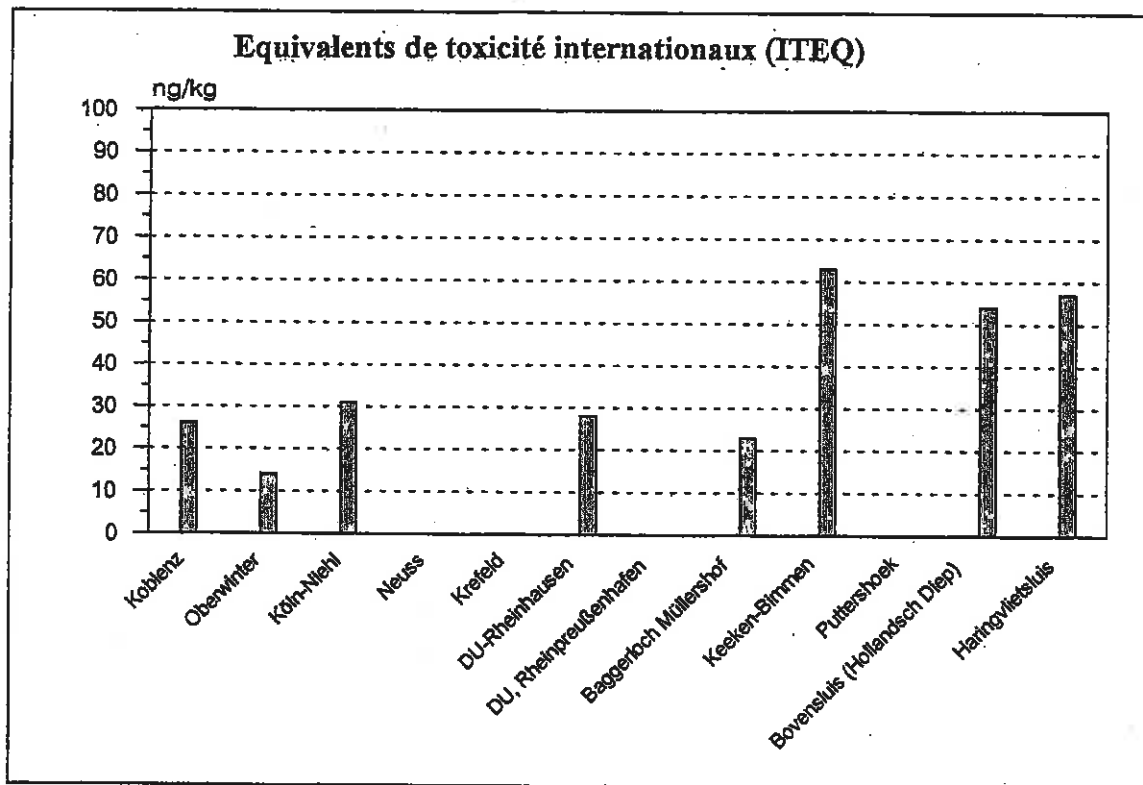
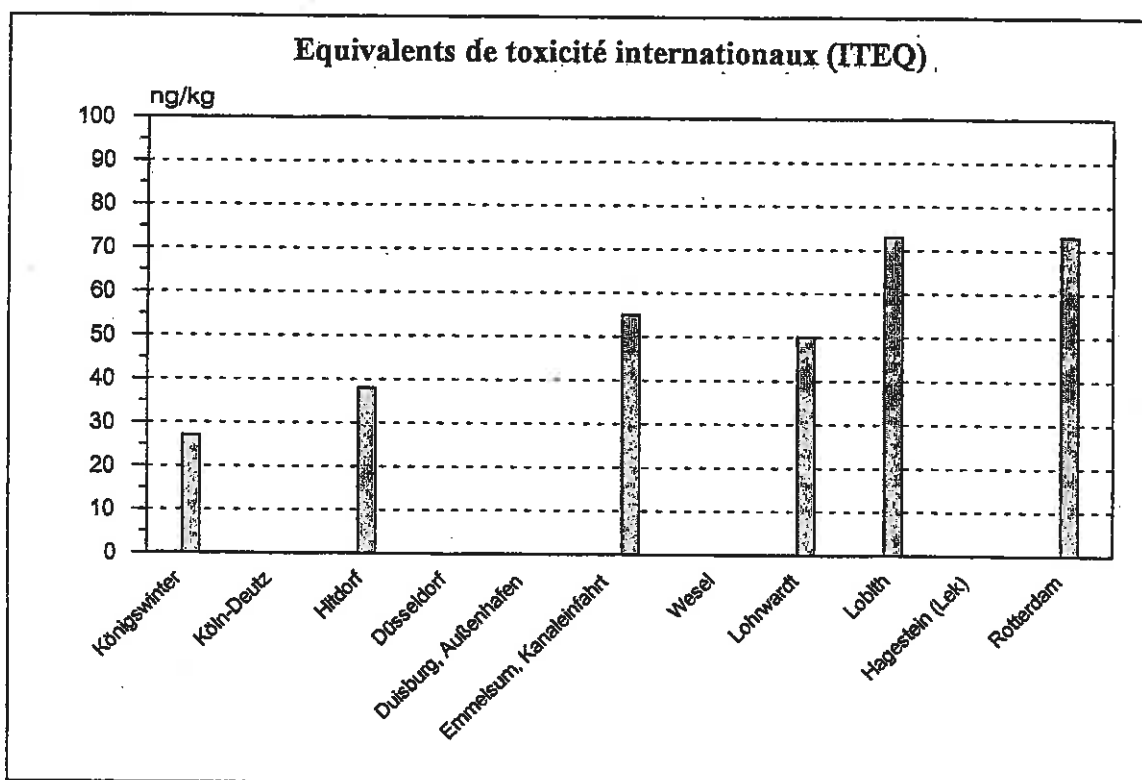


Fig. 3.6.16c: „Dioxines“ dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Les teneurs du représentant le plus toxique de ce groupe de substance, le 2,3,7,8-TCDD, sont toutes inférieures à la limite analytique de dosage dans le haut Rhin. Avec 5 ng/kg, cette dernière est certes comparativement élevée dans les stations de mesure de Laufenburg et de Birsfelden. Cependant, pour les raisons mentionnées, on peut estimer que la contamination est aussi faible dans toutes les stations de mesure du haut Rhin qu'elle n'est à Kadelburg. Dans le Rhin supérieur, la teneur en 2,3,7,8-TCDD accuse une légère augmentation et atteint env. 2 ng/kg, niveau qui reste inchangé jusqu'à Cologne. A partir de Duisbourg, sur la rive gauche du Rhin inférieur, les teneurs enregistrent à nouveau une lente progression jusqu'à 4,6 ng/kg à Keeken-Bimmen. Avec une valeur de 11 ng/kg dans le Hollandsch Diep et de 13 ng/kg à Haringvlietsluis, la contamination triple ensuite dans le delta méridional

Sur la rive droite du Rhin inférieur, on note une augmentation des teneurs en 2,3,7,8-TCDD qui passent de 3,7 ng/kg à Hitdorf à presque 10 ng/kg à Emmelsum. Par la suite, après être provisoirement retombées au niveau d'Hitdorf, les teneurs connaissent une hausse brutale jusqu'à 24 ng/kg à Lobith. Rapporté aux chloratomes dans la combinaison 2,3,7,8, ce chiffre représente un tiers de la contamination globale par les dioxines. A Rotterdam, dans le delta septentrional, la teneur en 2,3,7,8-TCDD monte à nouveau légèrement, atteignant 28 ng/kg et par là même son niveau maximal dans le bassin du Rhin.

Fig. 3.6.17a: 2,3,7,8-TCDD dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

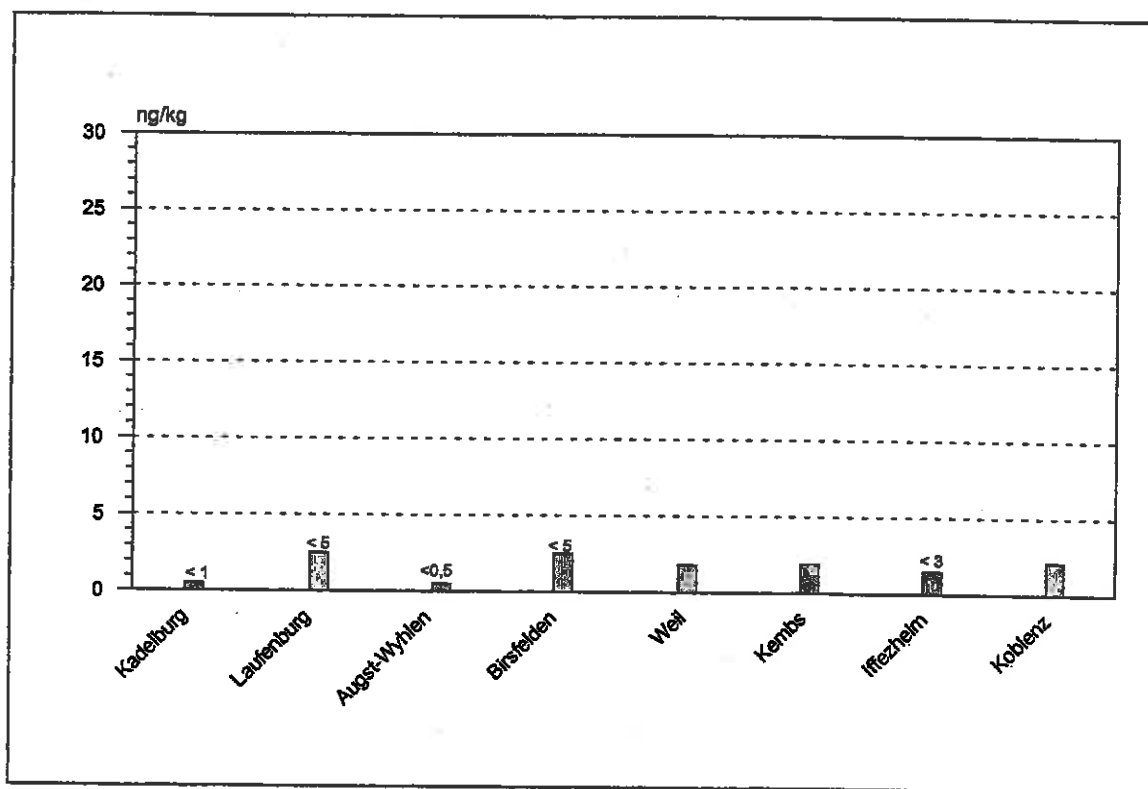


Fig. 3.6.17b: 2,3,7,8-TCDD dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

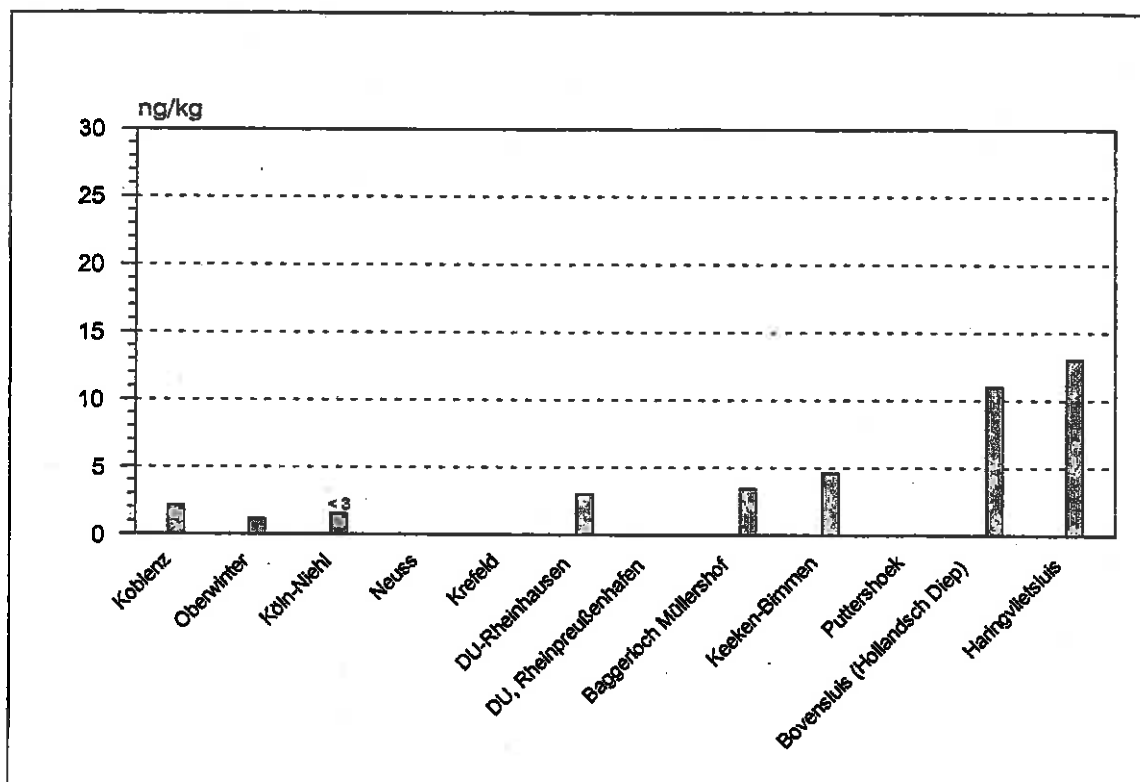
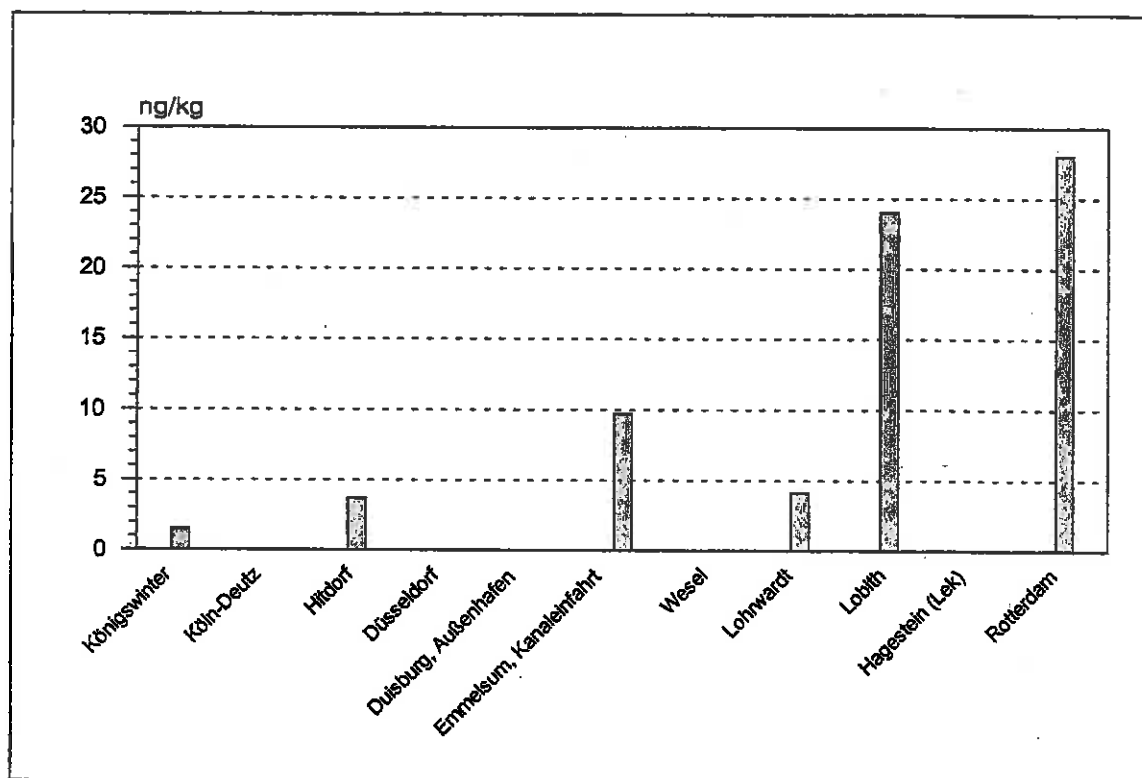


Fig. 3.6.17c: 2,3,7,8-TCDD dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.6.4 Hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA)

Alors que la station de mesure de Kadelburg sur le haut Rhin n'est pratiquement pas touchée par les composés organochlorés, on y constate une contamination de base par les HPA, même si celle-ci reste à un niveau bas. Partant de 0,26 mg/kg à Kadelburg, les teneurs en fluoranthène augmentent, oscillant entre 0,3 et 0,5 mg/kg par la suite dans le haut Rhin et le Rhin supérieur. Elles atteignent 0,51 mg/kg à Iffezheim. En aval de Coblenz, sur le Rhin moyen, elles dépassent enfin nettement 1 mg/kg dans la plupart des stations de mesure situées sur la rive gauche du Rhin inférieur, avec des pics de contamination au Duisburger Rheinpreußenhafen (1,8 mg/kg) et à Keeken-Bimmen (1,6 mg/kg). La teneur en fluoranthène retombe ensuite sensiblement dans le delta méridional avec une valeur de 0,79 mg/kg à Haringvlietsluis.

Sur la rive droite du Rhin inférieur, les teneurs en fluoranthène accusent une hausse encore plus brutale, les pollutions maximales étant enregistrées à la station de Wesel, avec 2,5 mg/kg, et à la station de Lobith, avec 2,9 mg/kg. Comme dans le delta méridional, la teneur en fluoranthène est également beaucoup plus faible dans le delta septentrional, avec une valeur de 0,5 mg/kg mesurée à la station d'Hagestein sur le Lek. On ne dispose d'aucune donnée pour Rotterdam à la sortie du delta.

Fig. 3.6.18: Fluoranthène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

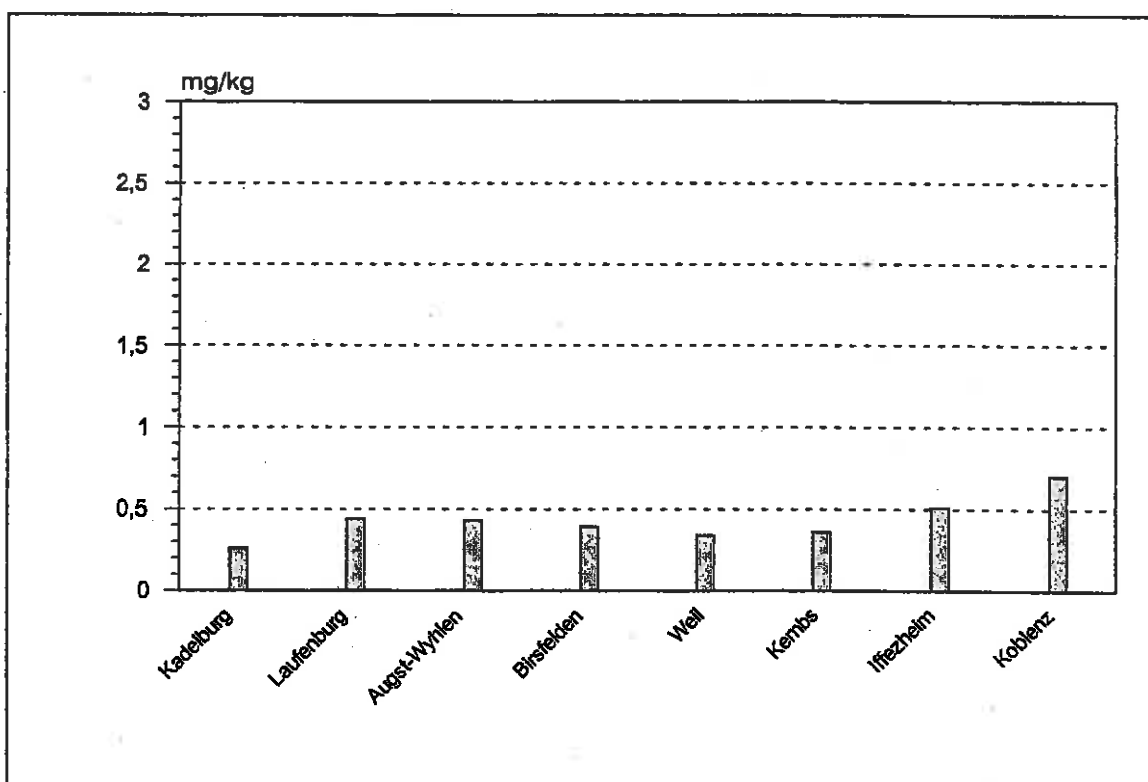


Fig. 3.6.18b: Fluoranthène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

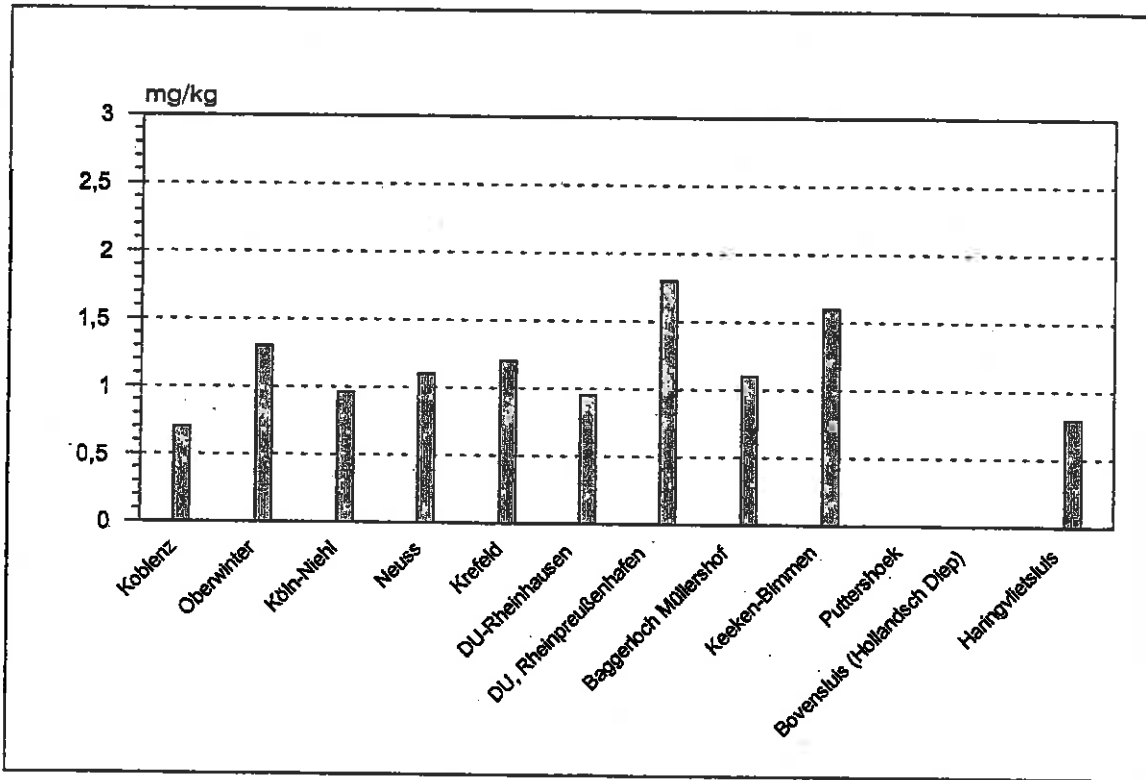
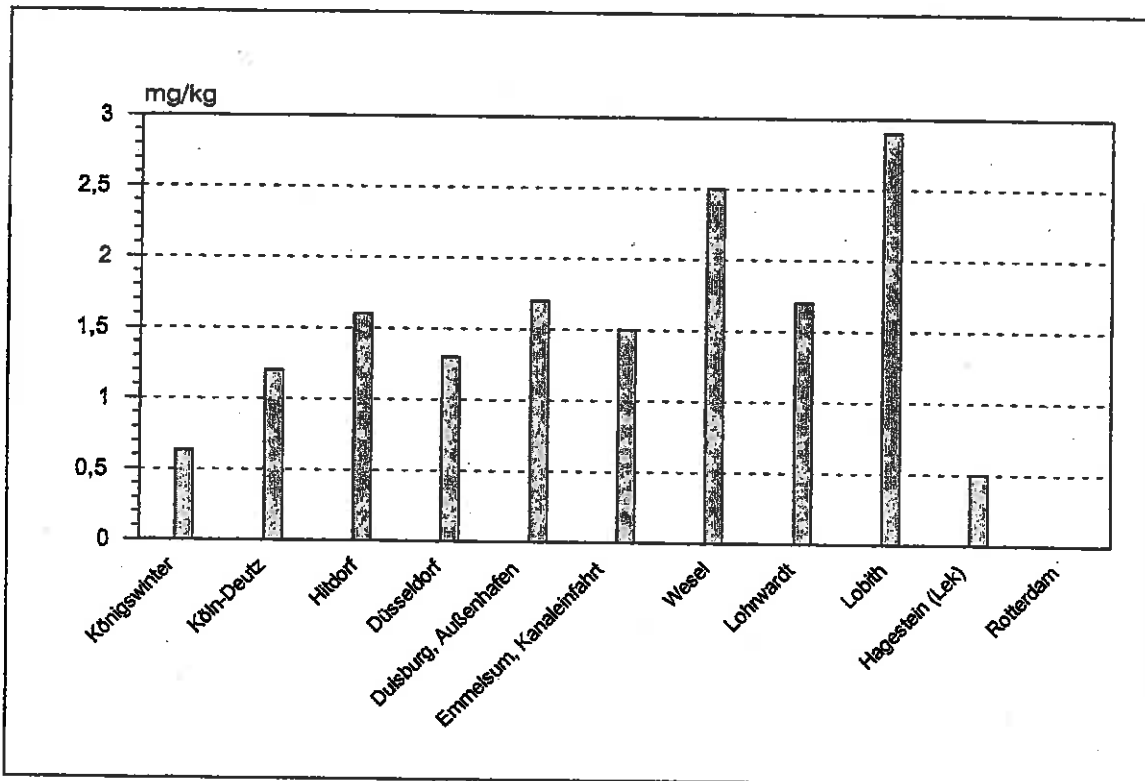


Fig. 3.6.18c: Fluoranthène dans le tronçon du Rhin compris dans le tronçon entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



La teneur en benzo(b)fluoranthène est de l'ordre de 0,15 mg/kg dans le haut Rhin à Kadelburg. Elle double ensuite jusqu'à Laufenburg et retombe ensuite autour de 0,2mg/kg dans la zone de Bâle. En aval, les teneurs progressent régulièrement, dépassant 0,5 mg/kg sur la rive gauche du Rhin inférieur et atteignant enfin 0,91 mg/kg à Keeken-Bimmen. Comme pour le fluoranthène, une baisse est enregistrée dans le delta méridional, avec 0,70 mg/kg à Haringvlietsluis

La hausse est beaucoup plus forte sur la rive droite du Rhin inférieur où l'on décèle 1,1 mg/kg au Duisburger Außenhafen et 1,6 mg/kg à Lobith. A Hagestein, dans le delta septentrional, la teneur en benzo(b)fluoranthène retombe en revanche au niveau relativement bas constaté dans le Rhin supérieur.

Fig. 3.6.19a: Benzo(b)fluoranthène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

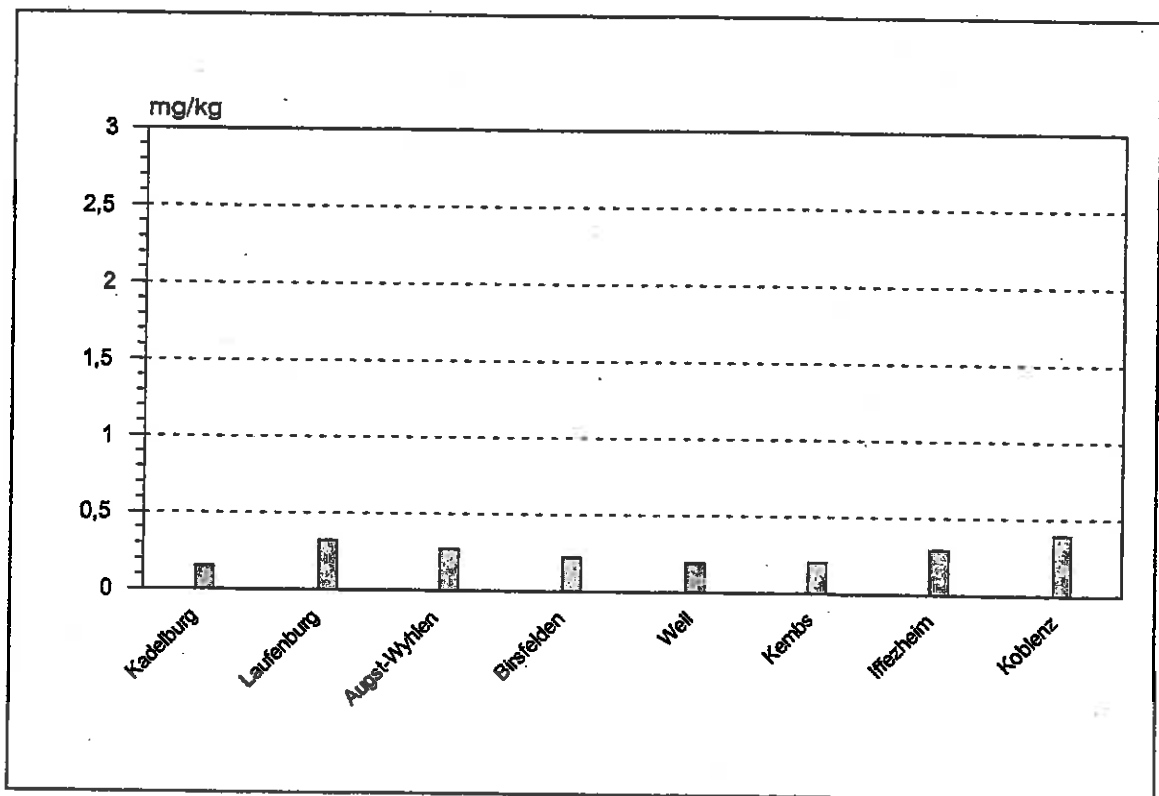


Fig. 3.6.19b: Benzo(b)fluoranthène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

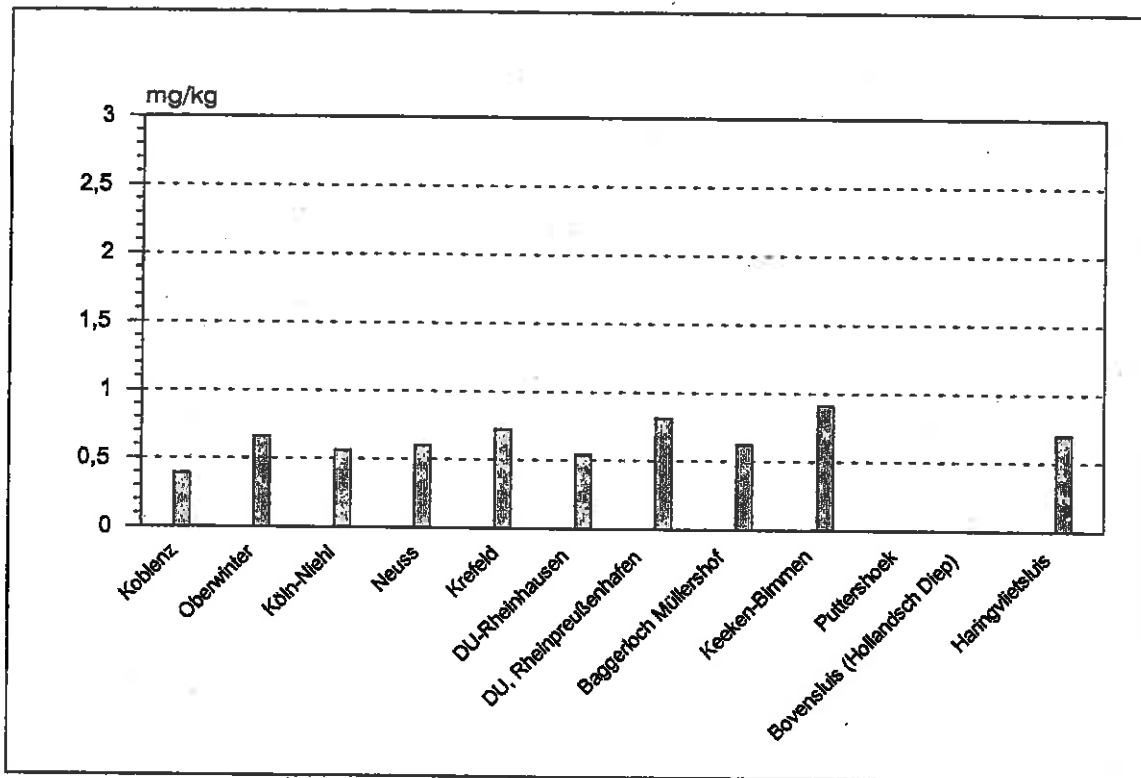
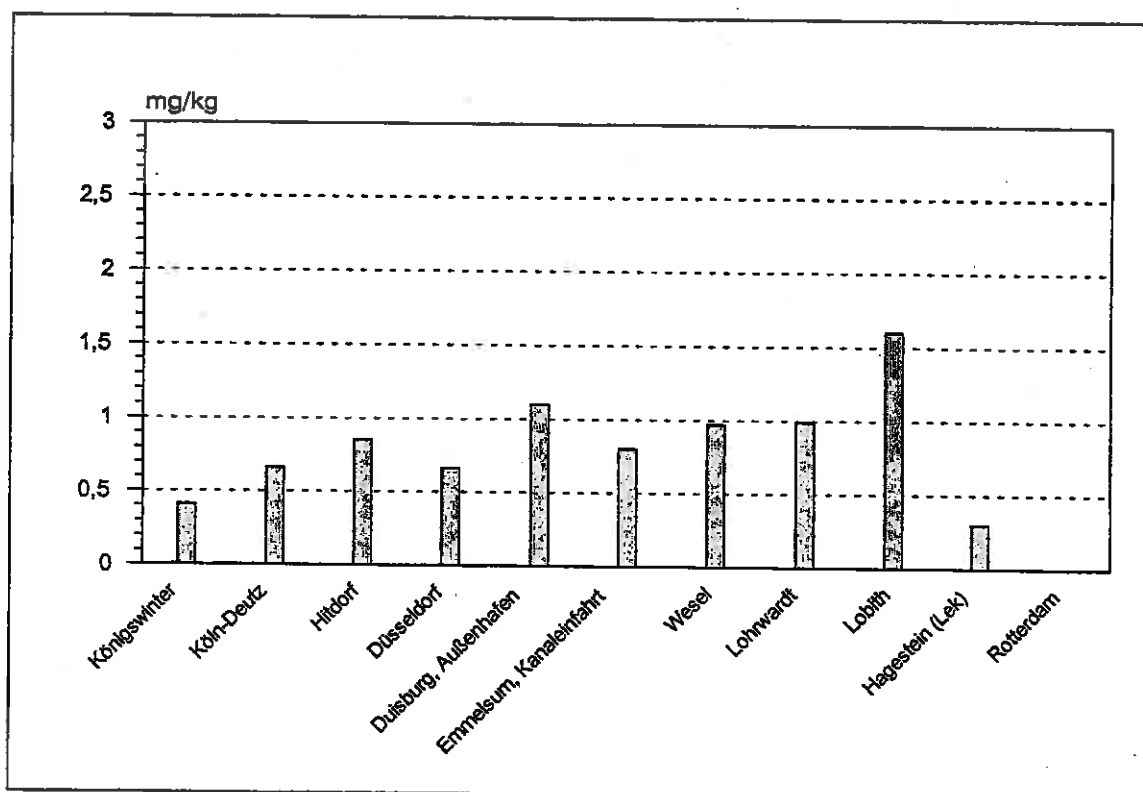


Fig.3.6.19c: Benzo(b)fluoranthène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Avec 0,07 mg/kg, la teneur en benzo(k)fluoranthène détectée à Kadelburg n'est que légèrement supérieure à la limite analytique de dosage de 0,05 mg/kg. Le tronçon allant de Laufenburg sur le haut Rhin à Iffezheim sur le Rhin supérieur présente des teneurs de l'ordre de 0,15 mg/kg soumises à de très faibles fluctuations. Atteignant 0,20 mg/kg à Coblenz, les concentrations montent ensuite à des valeurs comprises entre 0,25 et 0,40 mg/kg sur la rive gauche du Rhin inférieur et s'élèvent enfin à 0,45 mg/kg à Keeken-Bimmen. La teneur en benzo(k)fluoranthène retombe à 0,29 mg/kg à Haringvlietsluis.

Sur la rive droite, les teneurs augmentent de Cologne au Duisburger Außenhafen, où elles atteignent 0,52 mg/kg. Elles se maintiennent ensuite à ce niveau jusqu'à Lohrwardt. Un pic de pollution est ensuite constaté à Lobith avec 0,75 mg/kg. En revanche, le delta septentrional est quasiment exempt de contamination avec une valeur de 0,1 mg/kg.

Fig. 3.6.20a: Benzo(k)fluoranthène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

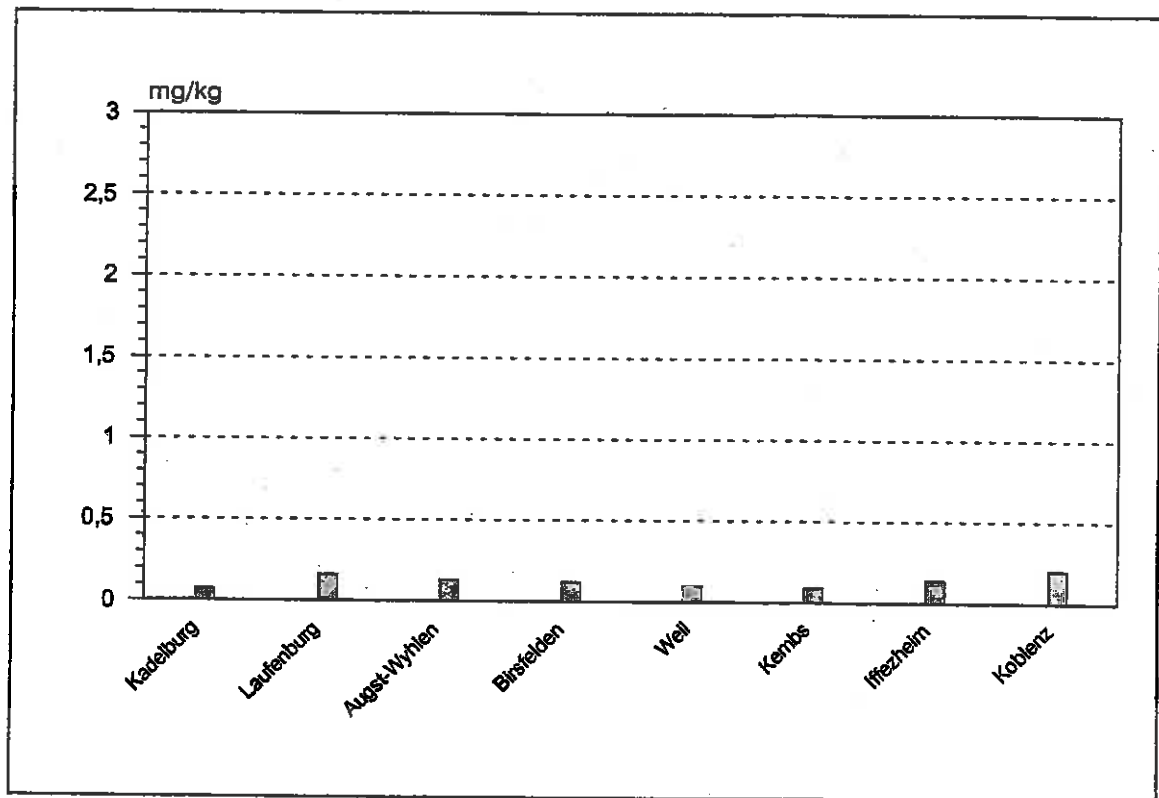


Fig. 3.6.20b: Benzo(k)fluoranthène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive droite

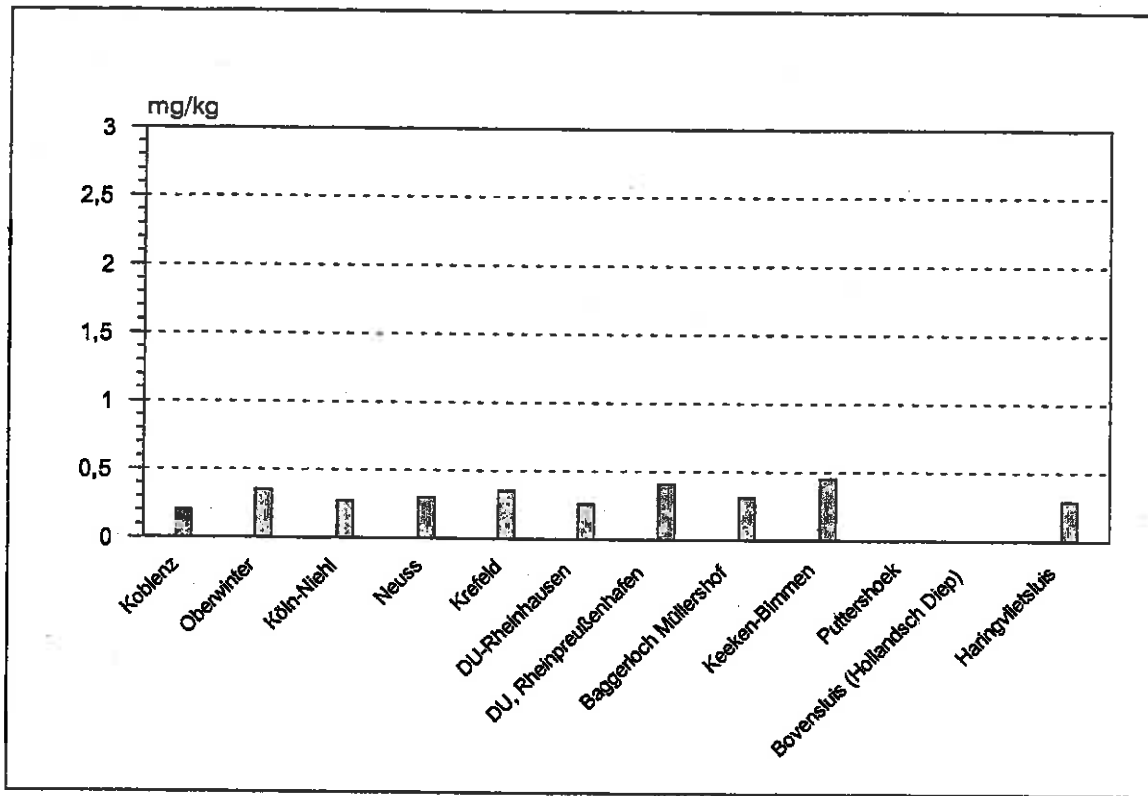
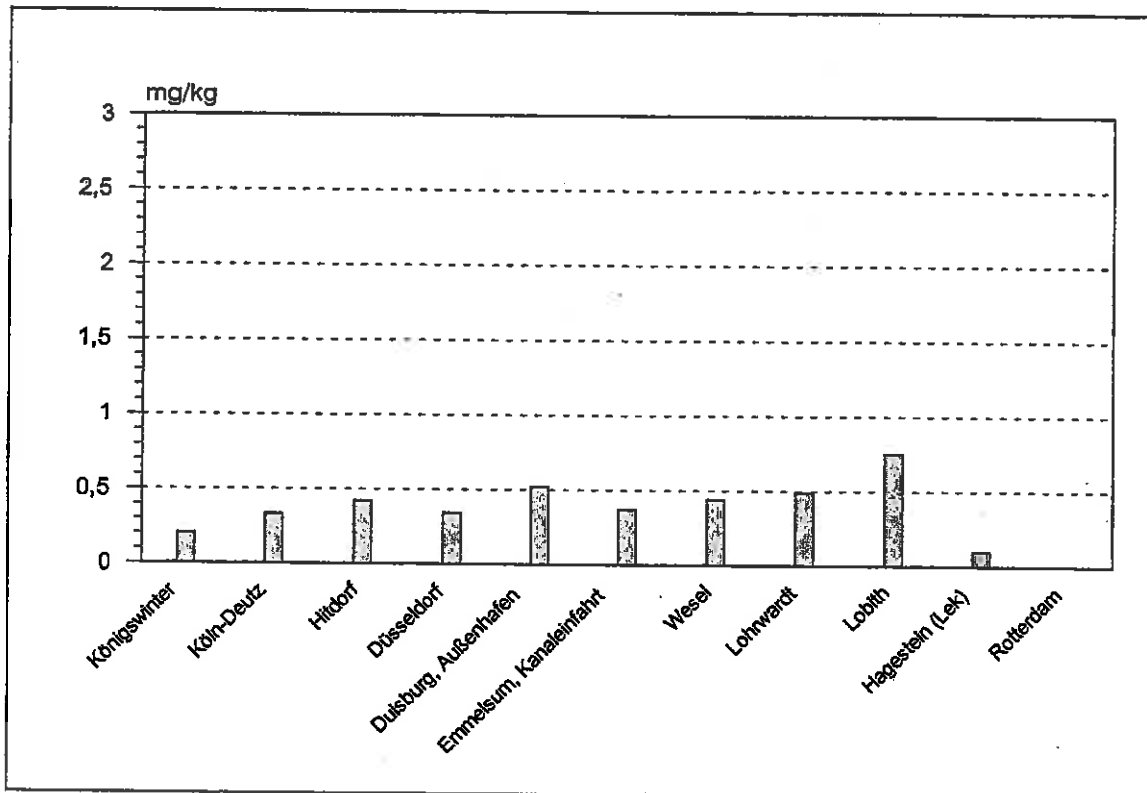


Fig. 3.6.20c: Benzo(k)fluoranthène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



La valeur de départ de 0,15 mg en benzo(a)pyrène obtenue dans le haut Rhin à Kadelburg double à Laufenburg et retombe ensuite à nouveau à son niveau initial à Weil et Kembs. Vers l'aval, les teneurs entament une lente progression jusqu'à 0,5 mg/kg à Oberwinter. Hormis au Duisburger Rheinpreußenhafen (0,74 mg/kg), elles se maintiennent à ce niveau sur la rive gauche du Rhin inférieur jusqu'à la frontière germano-néerlandaise où elles augmentent jusqu'à Keeken-Bimmen pour atteindre enfin 0,76 mg/kg. Un recul est constaté dans le delta méridional avec une teneur de 0,46 mg/kg à Haringvlietsluis.

Sur la rive droite, la teneur mesurée à Königswinter est encore similaire à celle de Coblenz. A partir de Cologne, les valeurs dépassent 0,5 mg/kg, avec une zone un peu plus contaminée aux alentours de Duisbourg (0,83 mg/kg). A Wesel et Lohrwardt, la teneur en benzo(a)pyrène progresse et accuse une nette hausse à Lobith avec 1,6 mg/kg. A l'opposé, le Lek, bras estuarien du delta septentrional, est aussi peu contaminé que les stations de mesure du haut Rhin et du Rhin supérieur.

Fig. 3.6.21a: Benzo(a)pyrène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

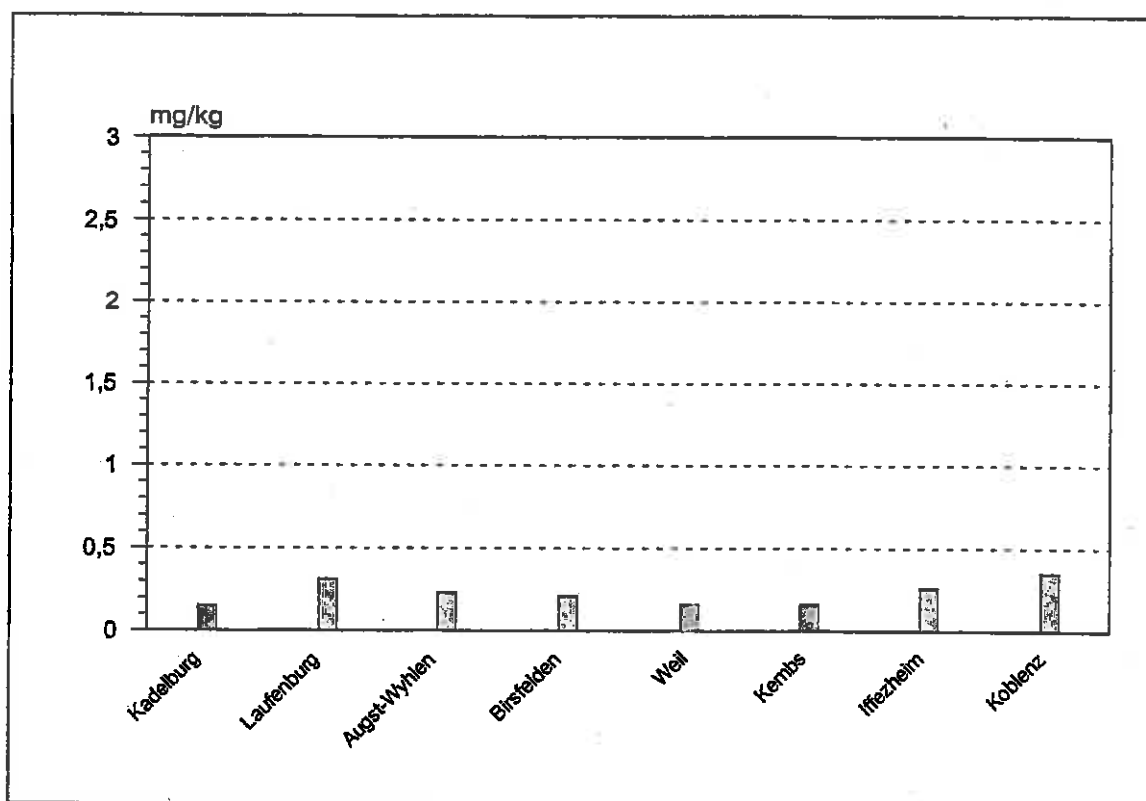


Fig. 3.6.21b: Benzo(a)pyrène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

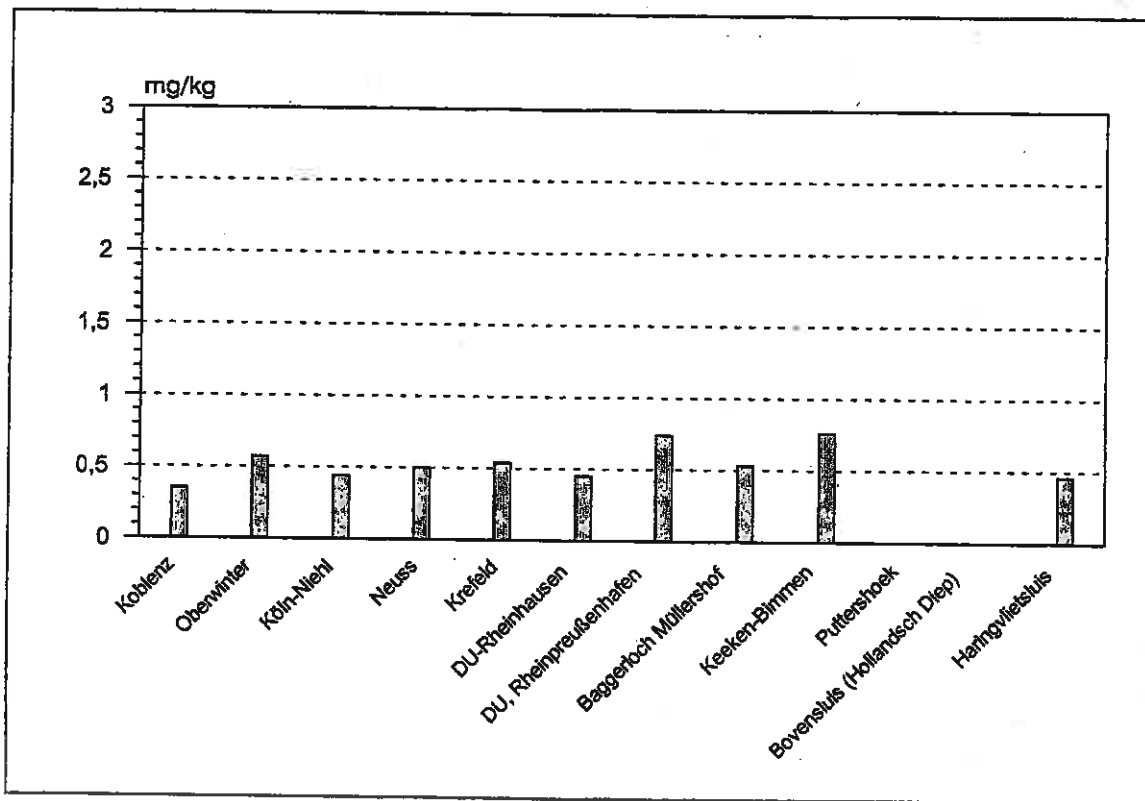
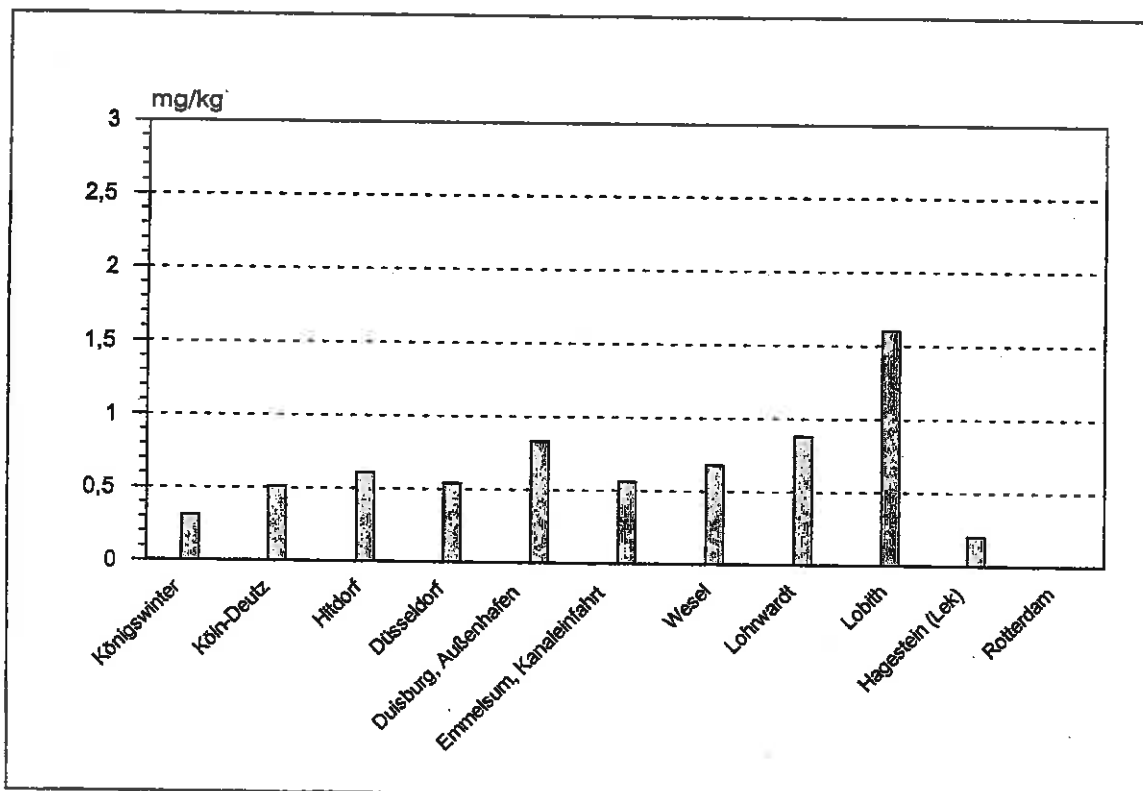


Fig. 3.6.21c: Benzo(a)pyrène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Les teneurs absolues de benzo(ghi)pérylène, tout comme leur évolution sur le profil longitudinal du Rhin, sont pratiquement identiques à celles du benzo(a)pyrène. Seul le pic de contamination de Lobith est moins prononcé, avec une valeur de 1,2 mg/kg

Fig. 3.6.22a: Benzo(ghi)pérylène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

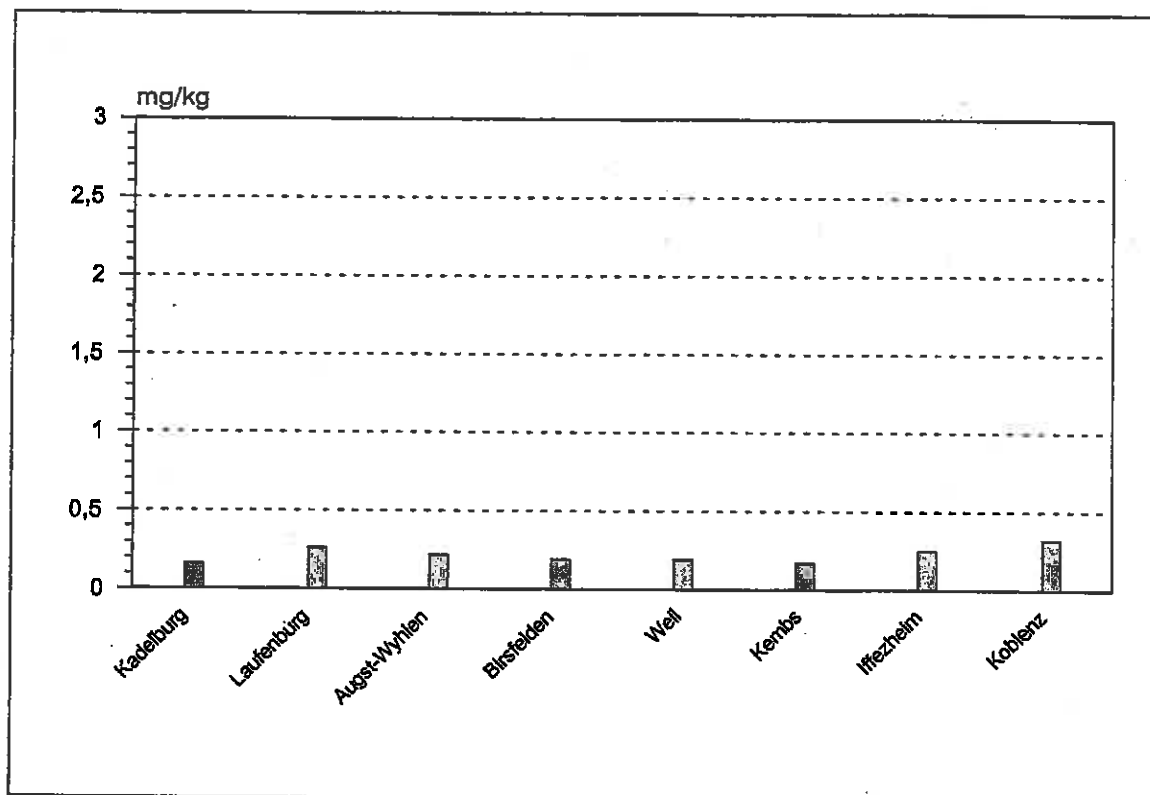


Fig. 3.6.22b: Benzo(ghi)pérylène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

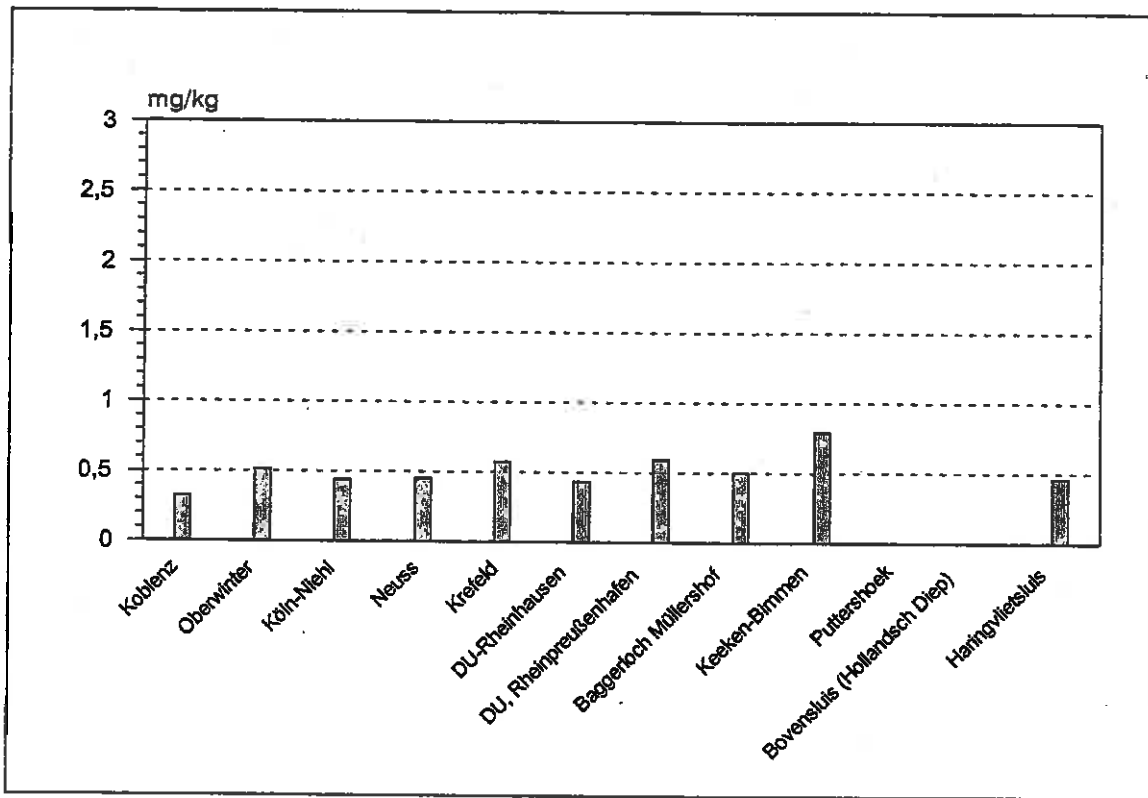
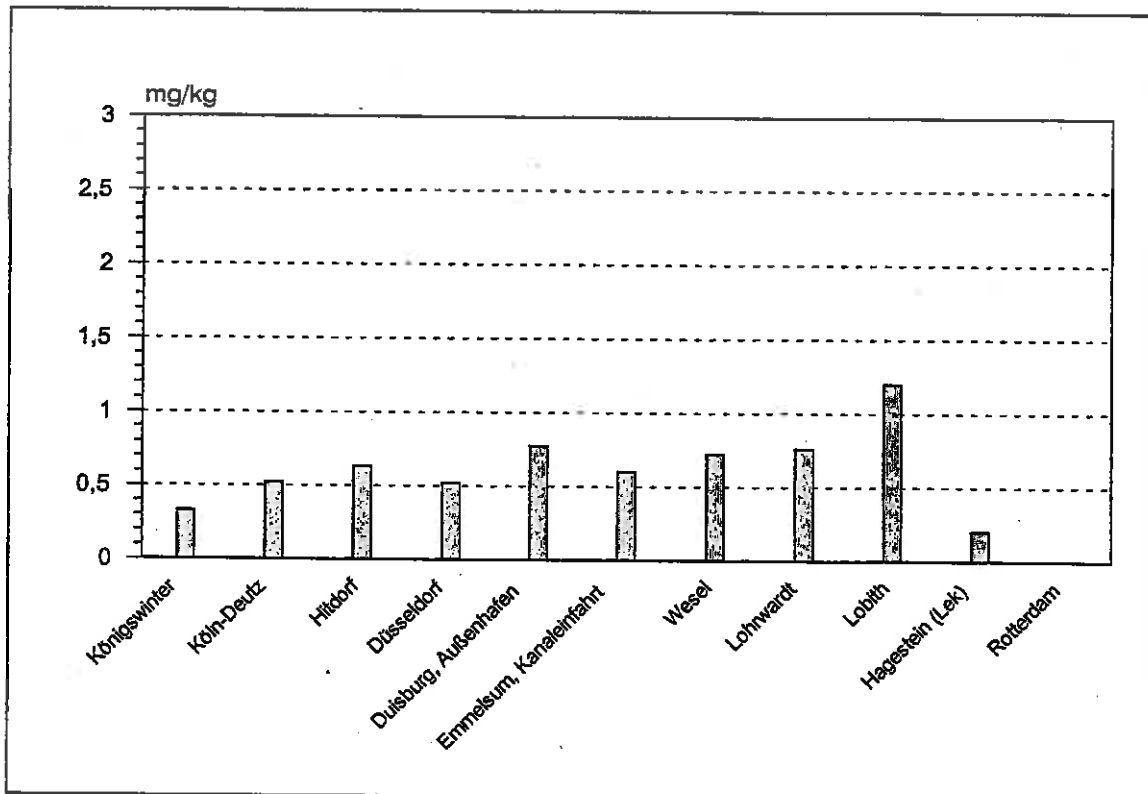


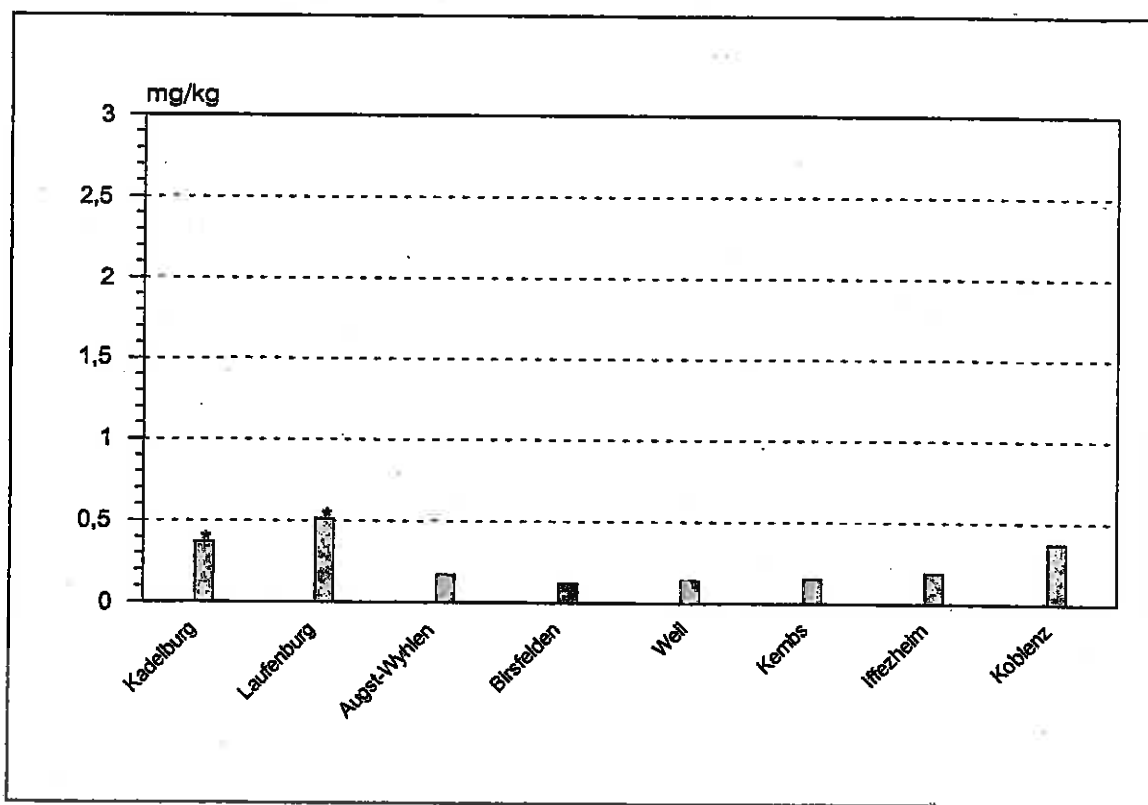
Fig. 3.6.22c: Benzo(ghi)pérylène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



A Kadelburg et Laufenburg, stations de mesure du haut Rhin, les teneurs en indéno(1,2,3-cd)pyrène, beaucoup plus élevées que celles des stations plus en aval et de la station française de Kembs, doivent être considérées comme des valeurs aberrantes (anormalement élevées, éventuellement dues à une erreur analytique) et plutôt comparables aux concentrations détectées dans le Rhin moyen et le Rhin inférieur.

Entre Augst-Wyhlen et Iffezheim, les teneurs en indéno(1,2,3-cd)pyrène sont de l'ordre de 0,15 mg/kg et augmentent ensuite pour atteindre 0,37 mg/kg à Coblenz et 0,29 mg/kg à Königswinter. Sur la rive gauche du Rhin à partir d'Oberwinter et sur la rive droite du Rhin à partir de Cologne, les teneurs atteignent des valeurs autour de 0,5 mg/kg. Elles se maintiennent à ce niveau jusqu'en amont de la frontière germano-néerlandaise, la rive droite étant toutefois légèrement plus contaminée. Les valeurs maximales sont obtenues au passage de la frontière avec 0,68 mg/kg à Keeken-Bimmen et 0,89 mg/kg à Lobith. Dans le delta, elles tombent ensuite à 0,56 mg/kg à Haringvlietsluis et à 0,3 mg/kg à Hagestein sur le Lek.

Fig. 3.6.23a: Indéno(1,2,3-cd)pyrène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz



* valeur aberrante

Fig. 3.6.23b: Indéno(1,2,3-cd)pyrène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

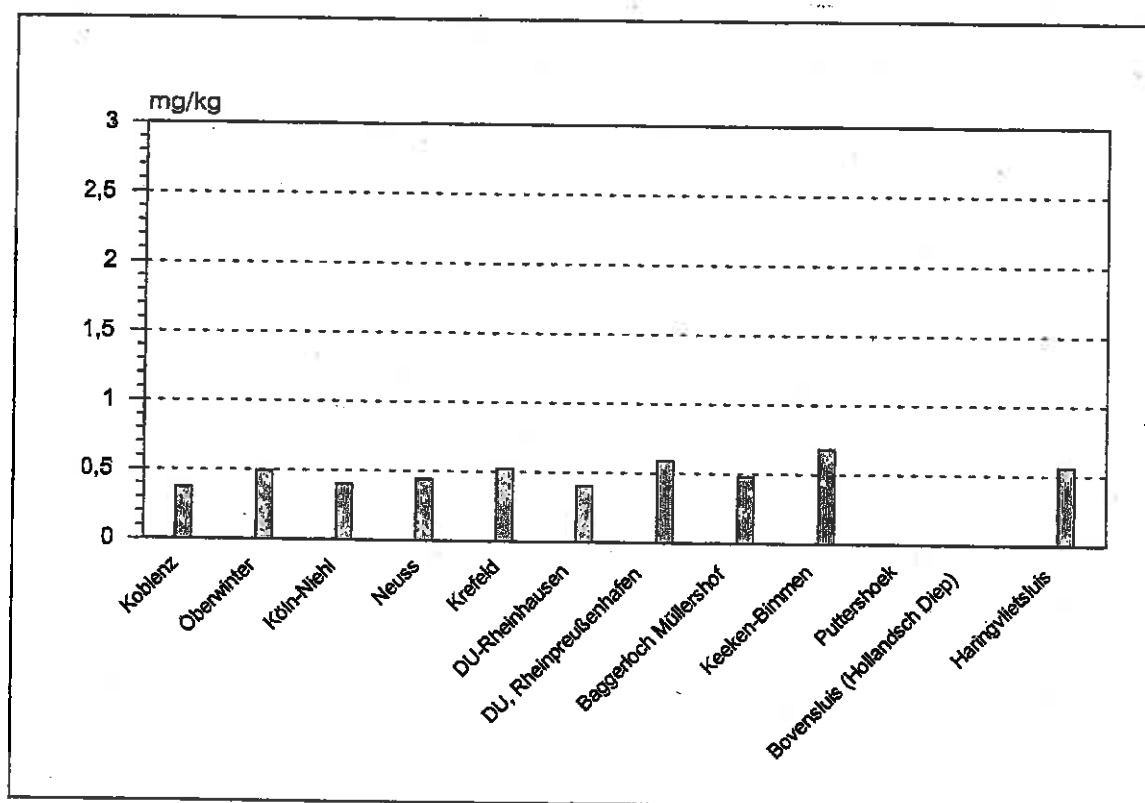
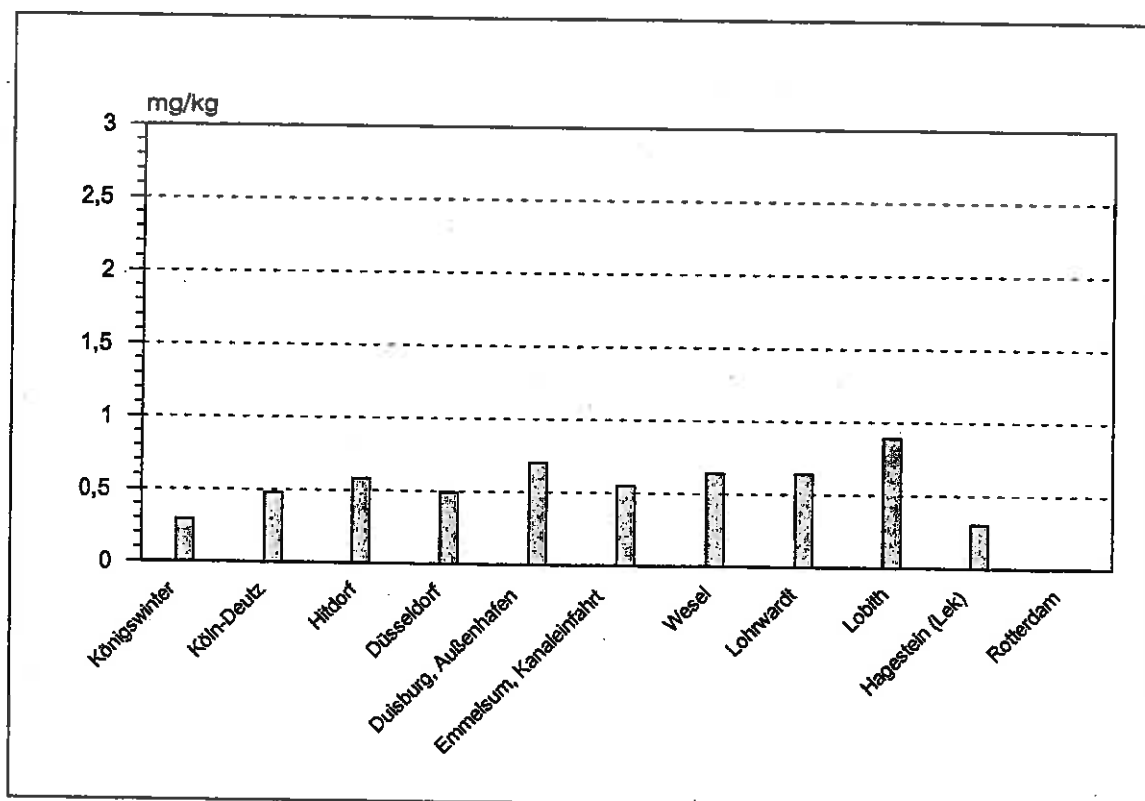


Fig. 3.6.23c: Indéno(1,2,3-cd)pyrène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Les teneurs en pyrène sont certes inférieures à la limite analytique de dosage de 0,05 mg/kg dans les stations de Kadelburg et de Laufenburg. Plus en aval, elles sont cependant les plus élevées des 15 HPA analysés de la série EPA, après celles du fluoranthène. Ainsi, les teneurs évoluent autour de 0,25 mg/kg entre Augst-Wyhlen et Kembs. Elles accusent ensuite une progression sensible avec 0,47 mg/kg à Iffezheim et 0,59 mg/kg à Coblenz, avant d'atteindre 1,0 mg/kg à Oberwinter à la sortie du Rhin moyen. Ce niveau se maintient dans l'ensemble sur toute la rive gauche du Rhin inférieur, avec cependant une légère pointe de 1,4 mg/kg au Duisburger Rheinpreußenhafen.

Sur la rive droite, une hausse n'est constatée qu'à partir de Cologne, avec 1 mg/kg. Après de fortes variations, la valeur maximale est atteinte à Wesel avec 2,2 mg/kg. La station de Lobith enregistre une contamination analogue. Les teneurs en pyrène baissent à nouveau sensiblement dans le delta à un niveau de 0,66 mg/kg à Haringvlietsluis et de 0,3 mg/kg à Hagestein.

Fig. 3.6.24a: Pyrène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

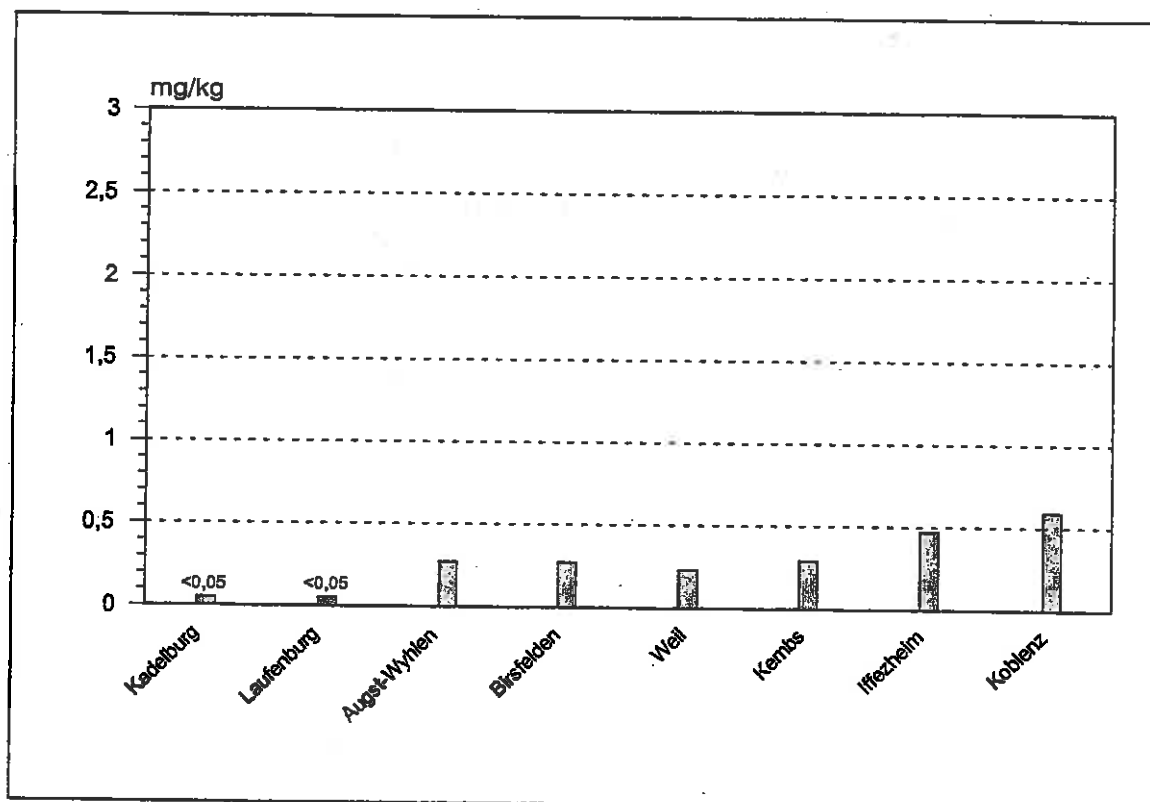


Fig. 3.6.24b: Pyrène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

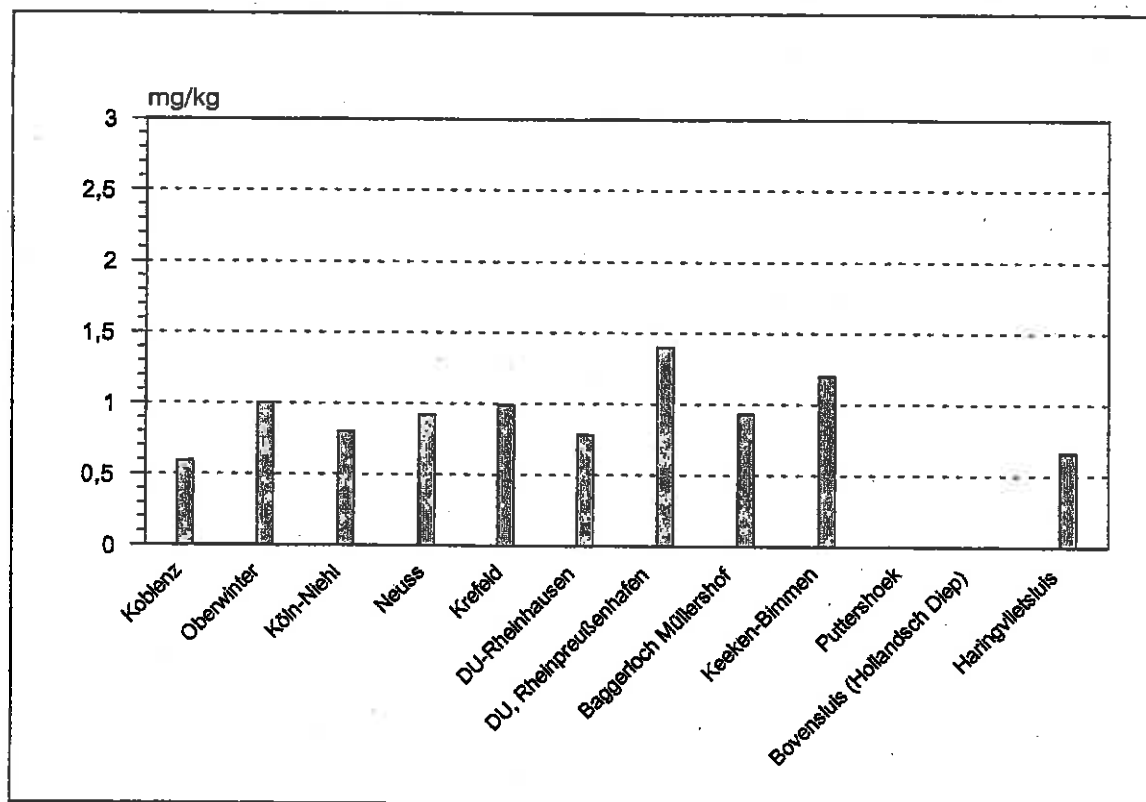
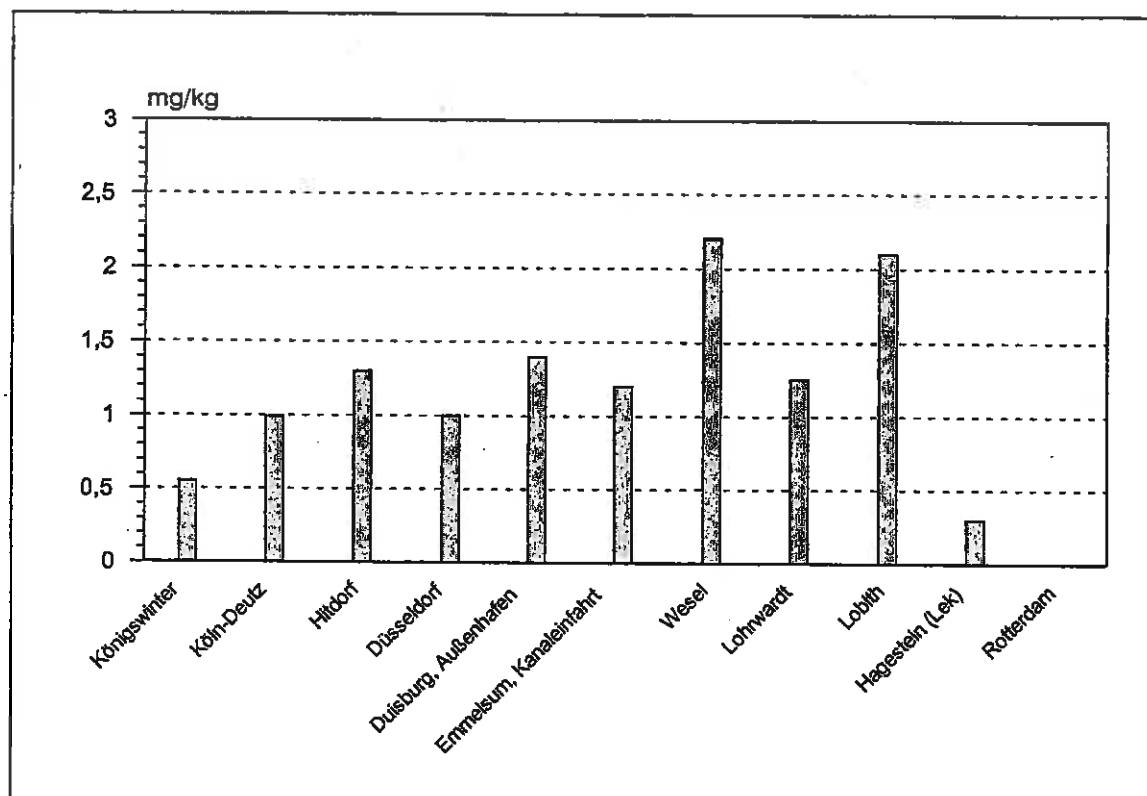


Fig. 3.6.24c: Pyrène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



La teneur en chrysène mesurée à Kadelburg est également inférieure à la limite analytique de dosage de 0,05 mg/kg. Elle est cependant en hausse à Laufenburg avec 0,43 mg/kg. Cette valeur doit certainement être considérée comme aberrante, étant donné que les teneurs de cet ordre de grandeur sont plutôt caractéristiques de la rive gauche du Rhin inférieur. Augst-Wyhlen et Iffezheim présentent des teneurs en chrysène oscillant autour de 0,2 mg/kg. Les concentrations augmentent ensuite vers l'aval et atteignent 0,4 à 0,5 mg/kg sur la rive gauche du Rhin inférieur. Elles sont quelque peu supérieures à ces dernières valeurs dans les stations du Duisburger Rheinpreußenhafen et de Keeken-Bimmen.

Sur la rive droite, les concentrations de chrysène dépassent plus ou moins nettement la barre des 0,5 mg/kg et atteignent leur maximum avec 1,1 mg/kg. Comme dans le cas des autres HPA, la zone deltaïque est sensiblement moins contaminée.

Fig. 3.6.25a: Chrysène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

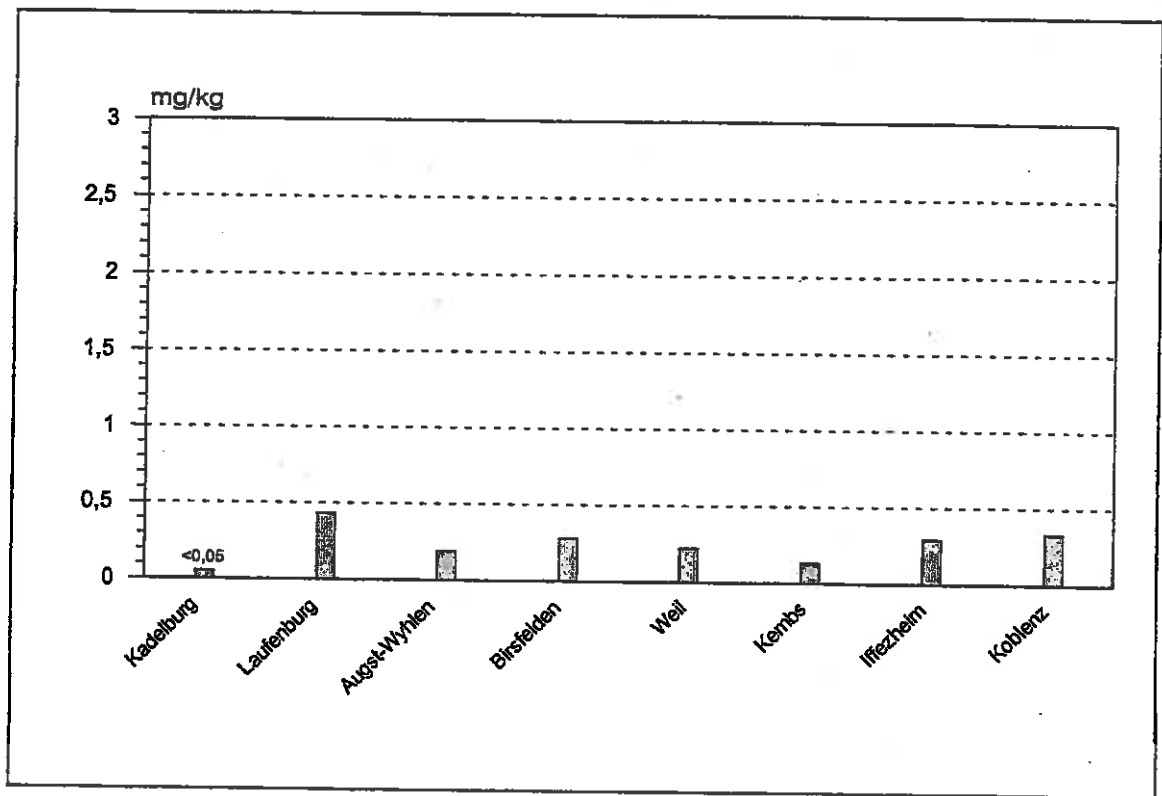


Fig. 3.6.25b: Chrysène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

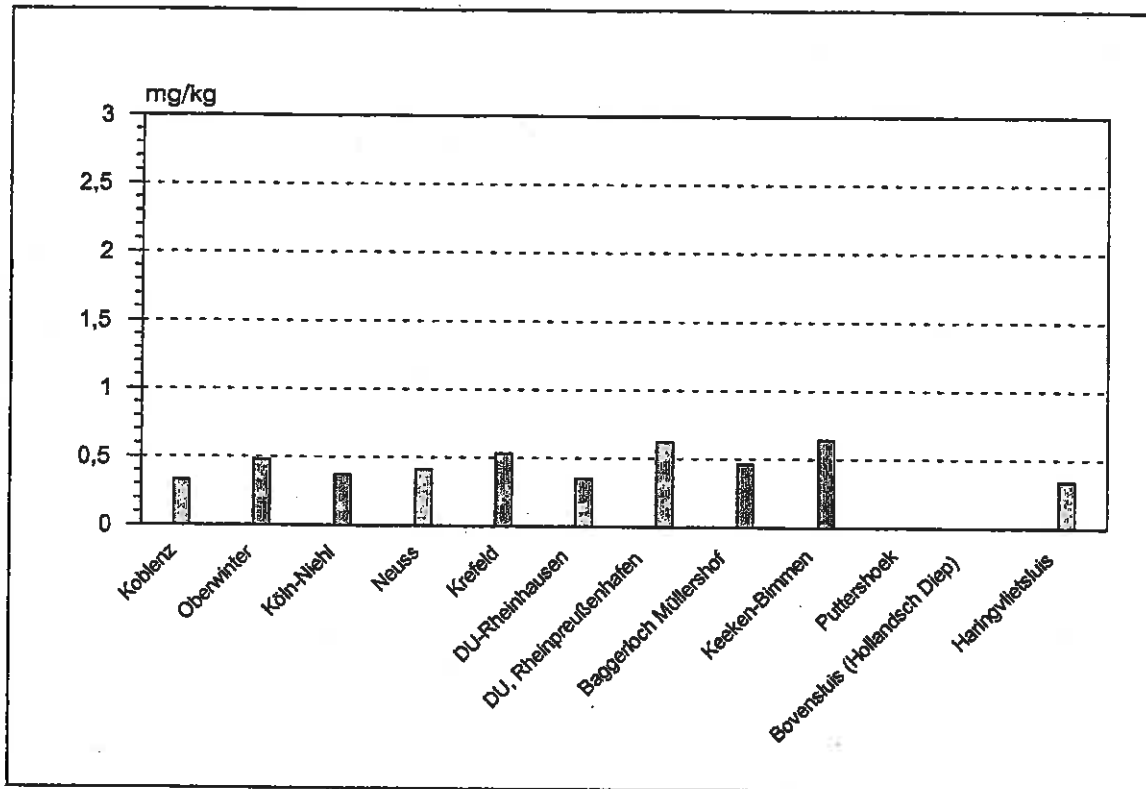
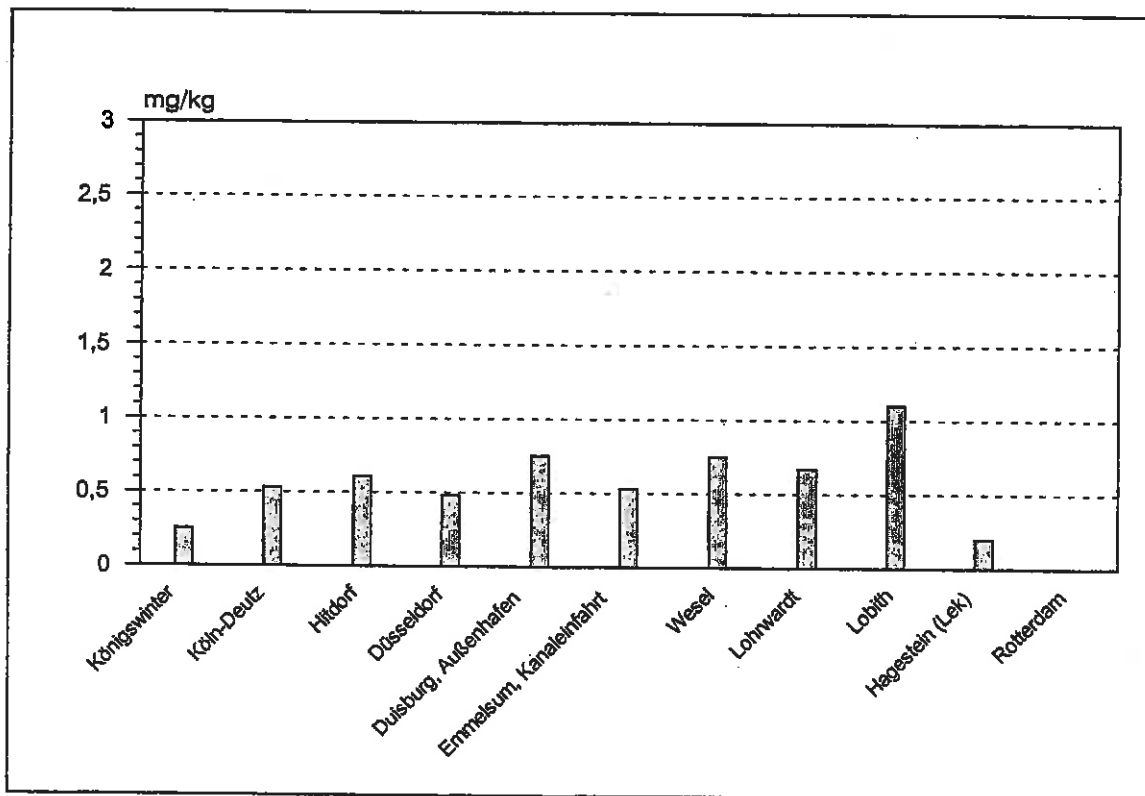


Fig. 3.6.25c: Chrysène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Dans le haut Rhin et le Rhin supérieur, les teneurs en anthracène sont la plupart du temps inférieures à la limite analytique de dosage de 0,05 mg/kg ou légèrement supérieures à cette dernière. La contamination est également faible dans les stations de mesure de Coblenze et de Königwinter sur le Rhin moyen, avec des valeurs de l'ordre de 0,1 mg/kg. Sur la rive gauche du Rhin inférieur, les teneurs en anthracène évoluent dans un premier temps dans un ordre de grandeur de 0,2 mg/kg jusqu'à Duisburg-Rheinhausen. Elles atteignent ensuite leur niveau maximum au Duisburger Rheinpreußenhafen avec 0,45 mg/kg, avant de retomber à 0,31 mg/kg à Müllershof et 0,34 mg/kg à Keeken-Bimmen. On note un recul plus net encore à Haringvlietsluis avec une valeur de 0,24 mg/kg.

Avec 0,84 mg/kg, la rive droite du Rhin inférieur fait ressortir un pic de pollution à hauteur de la station d'Hitdorf. Dans les autres stations, les teneurs en anthracène varient entre 0,28 mg/kg à Cologne, Düsseldorf et Lohrwardt et 0,43 mg/kg à l'entrée du canal Wesel-Datteln à hauteur d'Emmelsum, avant de s'élever à 0,55 mg/kg à Lobith. En revanche, avec une valeur de 0,1 mg/kg, la station d'Hagestein dans le delta septentrional n'est que faiblement contaminée.

Fig. 3.6.26a: Anthracène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenze

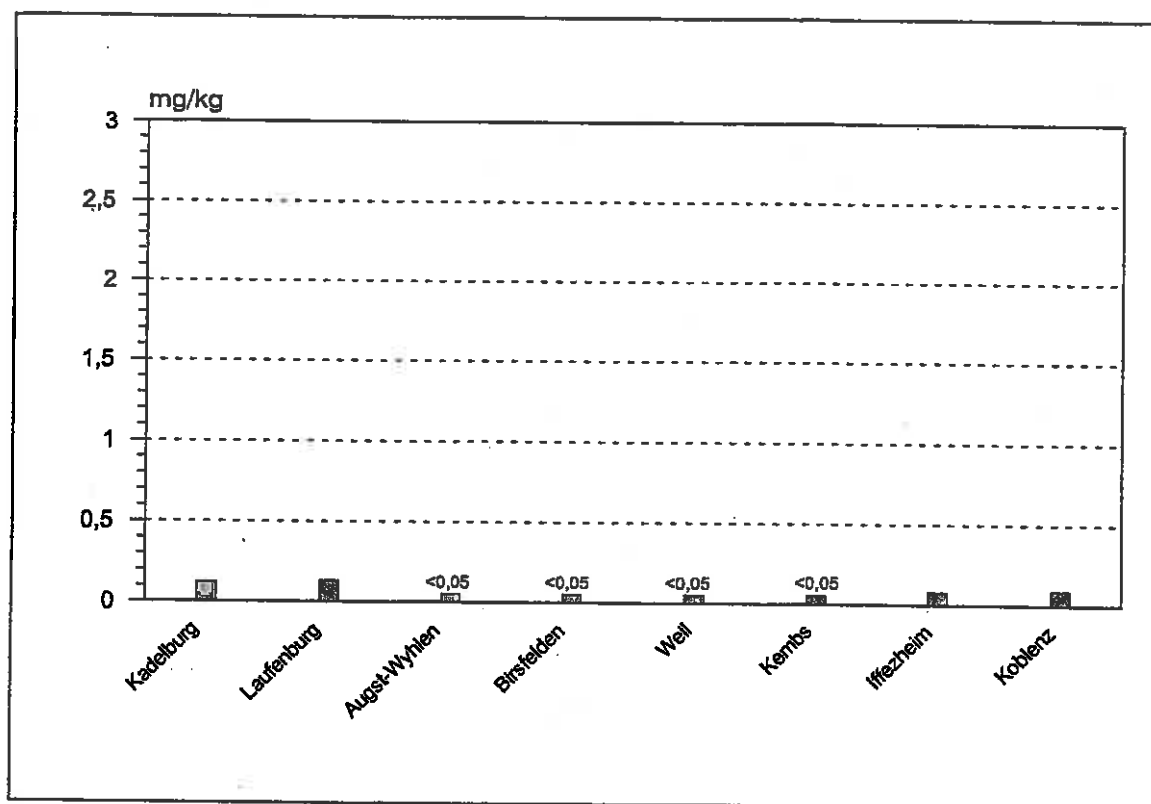


Fig. 3.6.26b: Anthracène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

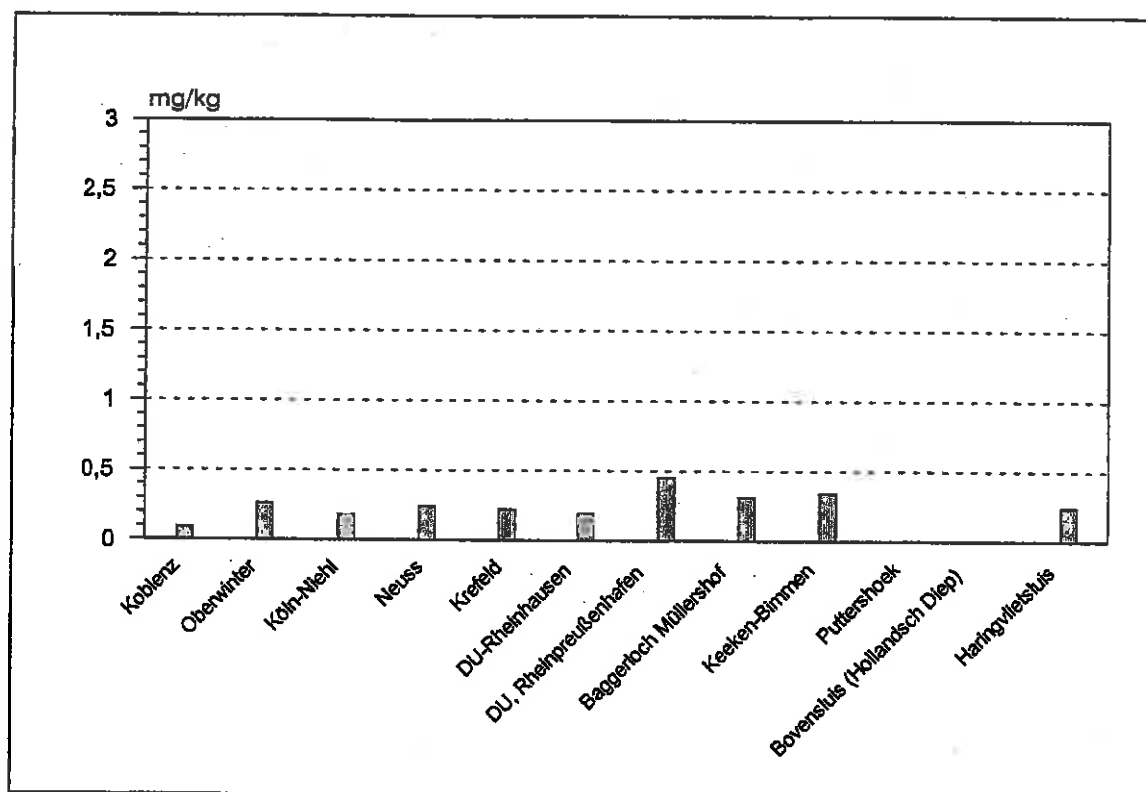
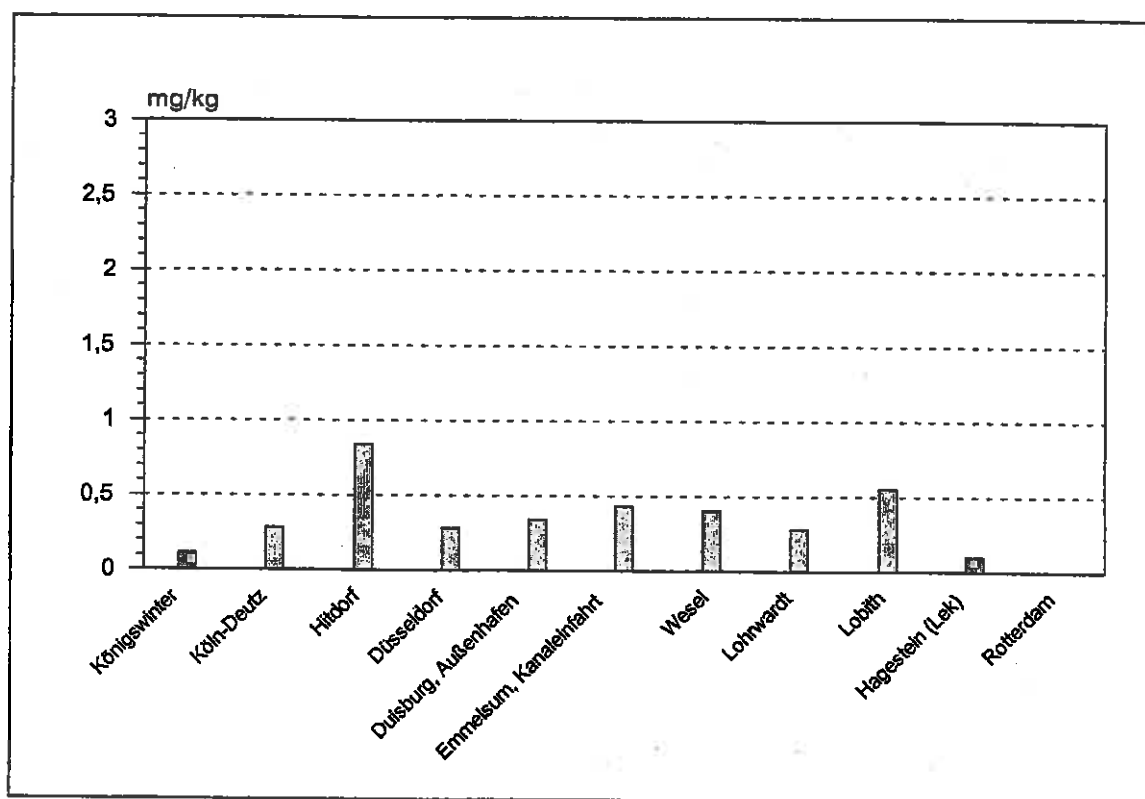


Fig. 3.6.26c: Anthracène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Les teneurs en benzo(a)anthracène sont de l'ordre de 0,2 mg/kg dans le haut Rhin et le Rhin supérieur. Elles augmentent à Coblenz avec 0,30 mg/kg et poursuivent leur progression sur la rive gauche du Rhin inférieur avec des valeurs autour de 0,55 mg/kg. Les stations de mesure du Duisburger Rheinpreußenhafen, avec 0,88 mg/kg, et de Keeken-Bimmen, avec 0,86 mg/kg, sont plus fortement contaminées. Dans le delta méridional, les 0,40 mg/kg mesurés à Haringvlietsluis attestent une baisse sensible de pollution.

Sur la rive droite, les teneurs en benzo(a)anthracène atteignent d'abord 0,33 mg/kg à Königswinter. Elles augmentent régulièrement, sans grande fluctuation, jusqu'à 1,3 mg/kg à Lobith. Avec 0,2 mg/kg à Hagestein, le delta septentrional est faiblement contaminé

Fig. 3.6.27a: Benzo(a)anthracène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

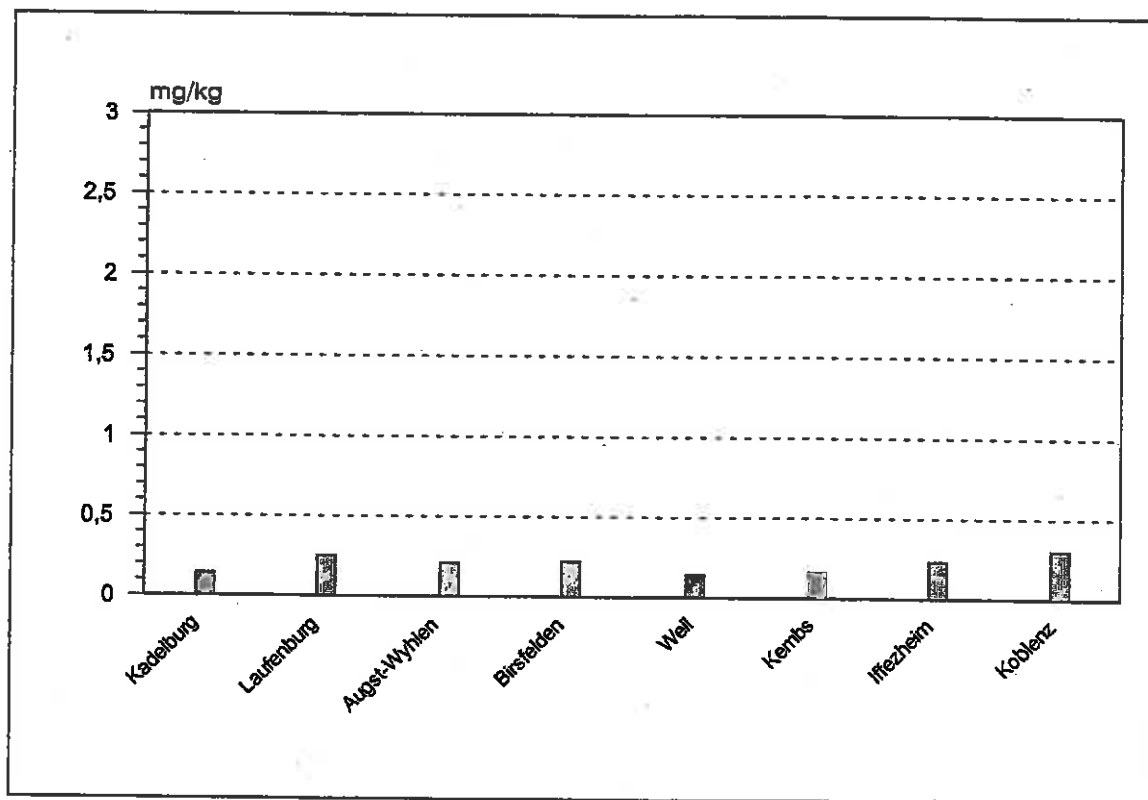


Fig. 3.6.27b: Benzo(a)anthracène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

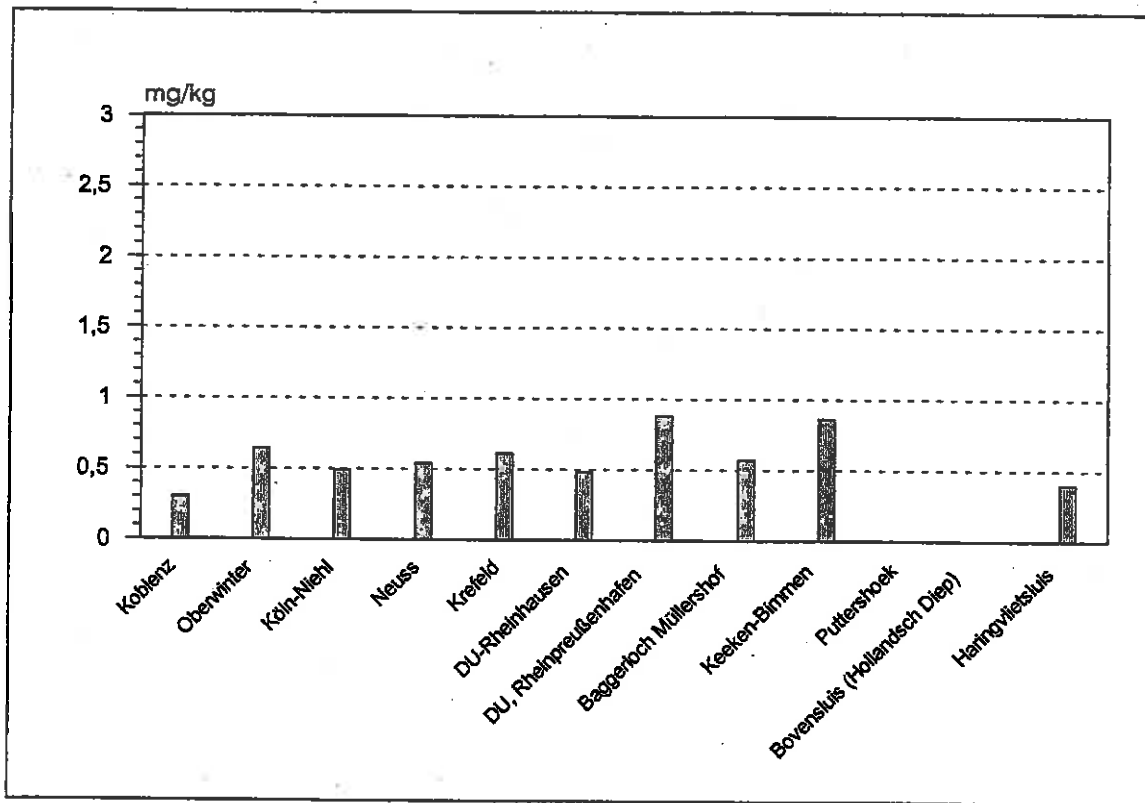
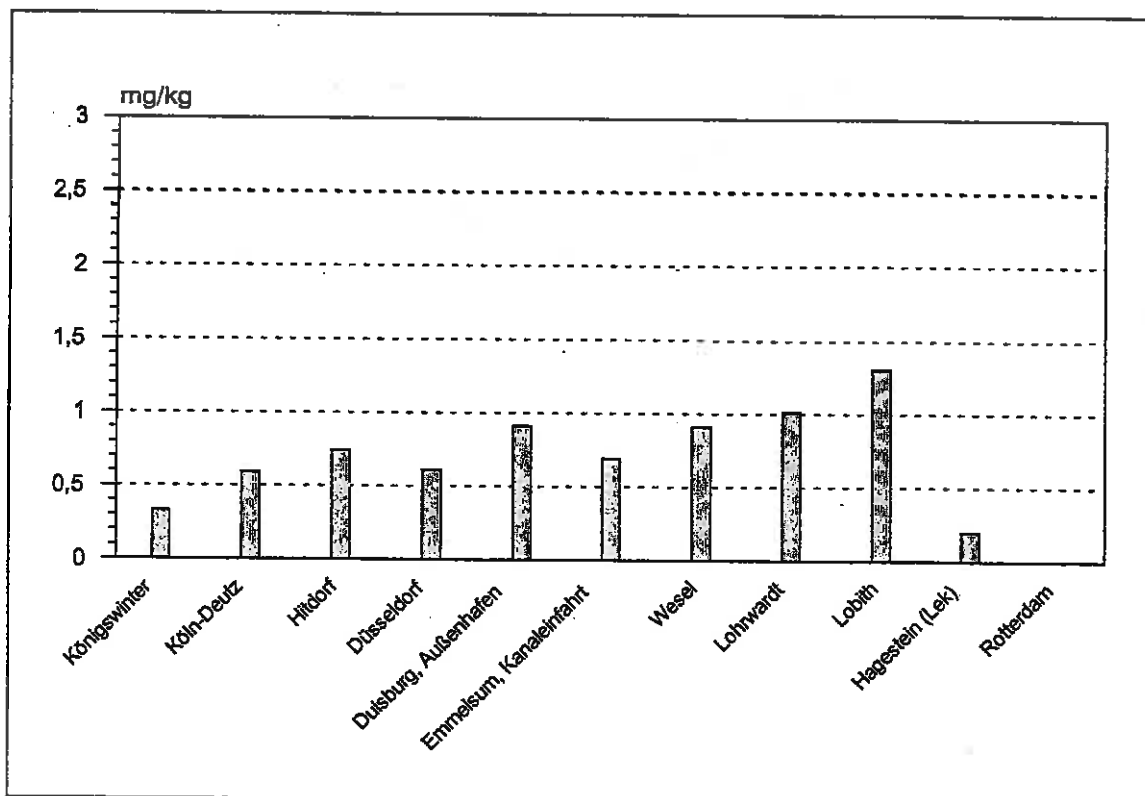


Fig. 3.6.27c: Benzo(a)anthracène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Partant de 0,06 mg/kg à Kadelburg, les teneurs en phénanthrène augmentent ensuite, passant de 0,10 mg/kg à Laufenburg à des valeurs de l'ordre de 0,2 mg/kg entre Augst-Wyhlen et Kembs. A partir d'Iffezheim, la hausse se poursuit avec 0,31 mg/kg à Coblenz et des valeurs oscillant autour de 0,5 mg/kg sur la rive gauche du Rhin inférieur. Là encore, les stations du Duisburger Rheinpreußenhafen, avec 0,88 mg/kg, et de Keeken-Bimmen, avec 0,91 mg/kg, présentent une contamination plus élevée. Dans le delta méridional enfin, la teneur en phénanthrène régresse à 0,44 mg/kg.

L'évolution des teneurs sur la rive droite du Rhin inférieur est très similaire à celle de la rive opposée, avec des variations de concentration autour de 0,7 mg/kg jusqu'à l'entrée du canal d'Emmelsum. On note une teneur maximale de 1,4 mg/kg respectivement dans les stations de Wesel et de Lobith. A Lohrwardt cependant, la teneur en phénanthrène s'élève à 0,92 mg/kg.

Fig. 3.6.28a: Phénanthrène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

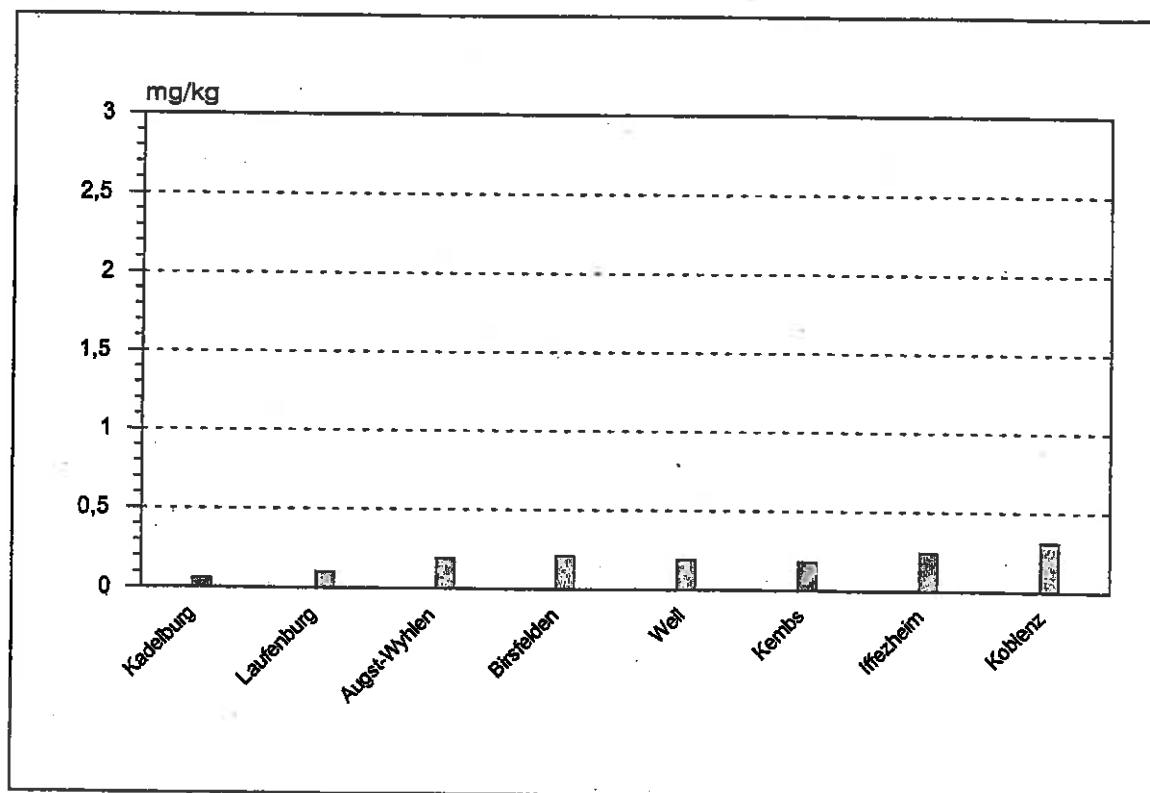


Fig. 3.6.28b: Phénanthrène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

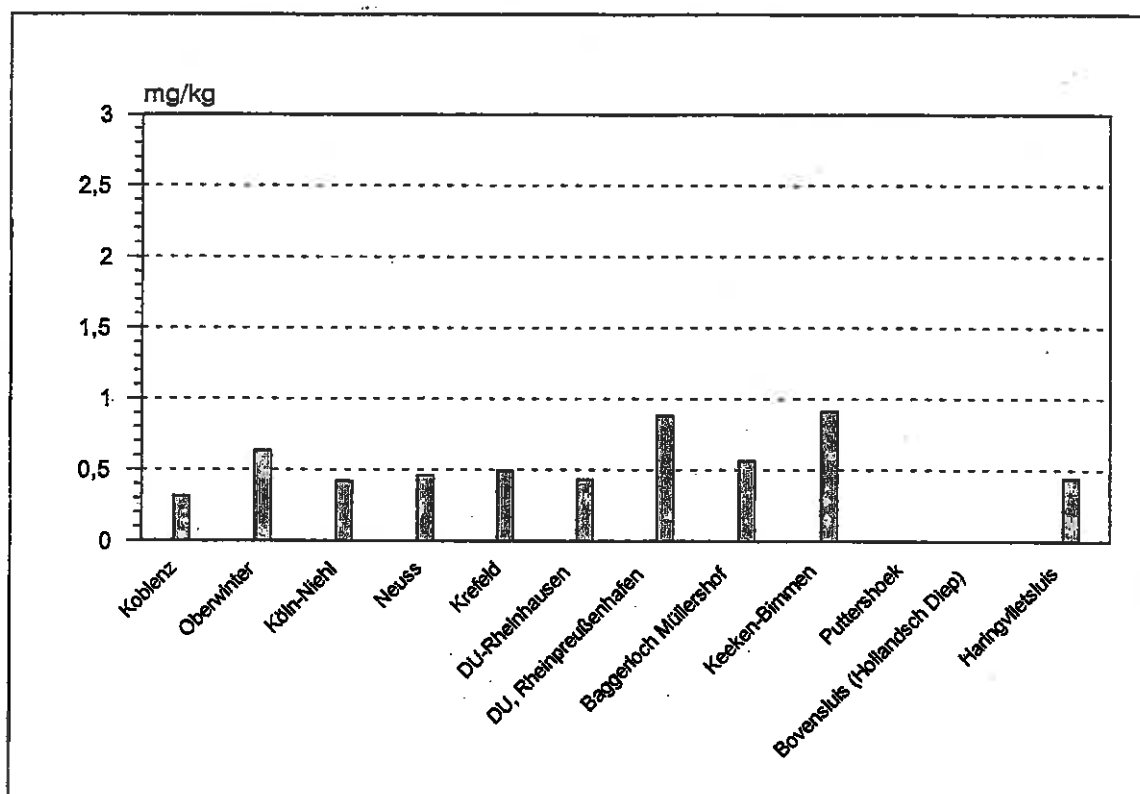
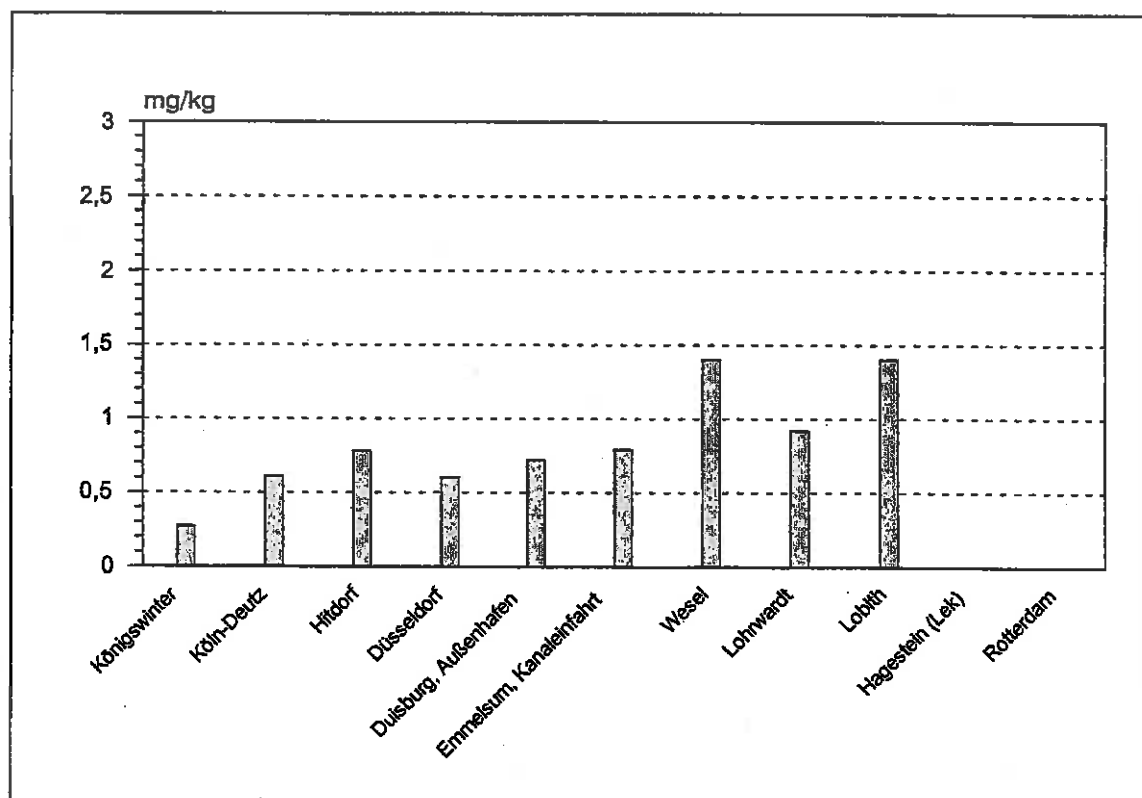


Fig. 3.6.28c: Phénanthrène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



La somme des 6 HPA de la série Borneff, c'est-à-dire fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(ghi)pérylène et indéno(1,2,3-cd)pyrène, s'élève à env. 1,25 mg/kg sur le haut Rhin et le Rhin supérieur jusqu'à Kembs. Il faut ici tenir compte du fait que les valeurs mesurées pour l'indéno(1,2,3-cd)pyrène sont à considérer comme aberrantes dans les stations de mesure de Kadelburg et de Laufenburg sur le haut Rhin, ce qui rehausse la somme des HPA de la série Borneff. A partir d'Iffezheim, les teneurs en HPA de la série Borneff augmentent, atteignant sur la rive gauche du Rhin inférieur entre 3 et 4 mg/kg. Comme pour la plupart des autres substances individuelles, les stations du Duisburger Rheinpreußenhafen et de Keeken-Bimmen, avec respectivement 4,94 mg/kg et 5,19 mg/kg, sont plus fortement contaminées par la somme des 6 HPA de la série Borneff. Le niveau moyen constatée sur la rive gauche du Rhin inférieur est à nouveau atteint à Haringvlietsluis dans le delta méridional.

Quelques stations de la rive droite du Rhin inférieur accusent une contamination nettement plus importante. La somme des 6 HPA de la série Borneff atteint ainsi 5,62 mg/kg au Duisburger Außenhafen, 5,95 mg/kg à Wesel et 5,46 mg/kg à Lohrwardt. Avec une valeur de 8,94 mg/kg, la teneur maximale est finalement atteinte à Lobith. En comparaison, le delta septentrional est faiblement contaminé, avec 1,6 mg/kg mesuré à Hagestein sur le Lek, une valeur similaire à celle d'Iffezheim.

Fig. 3.6.29a: Somme des HPA de la série Borneff dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

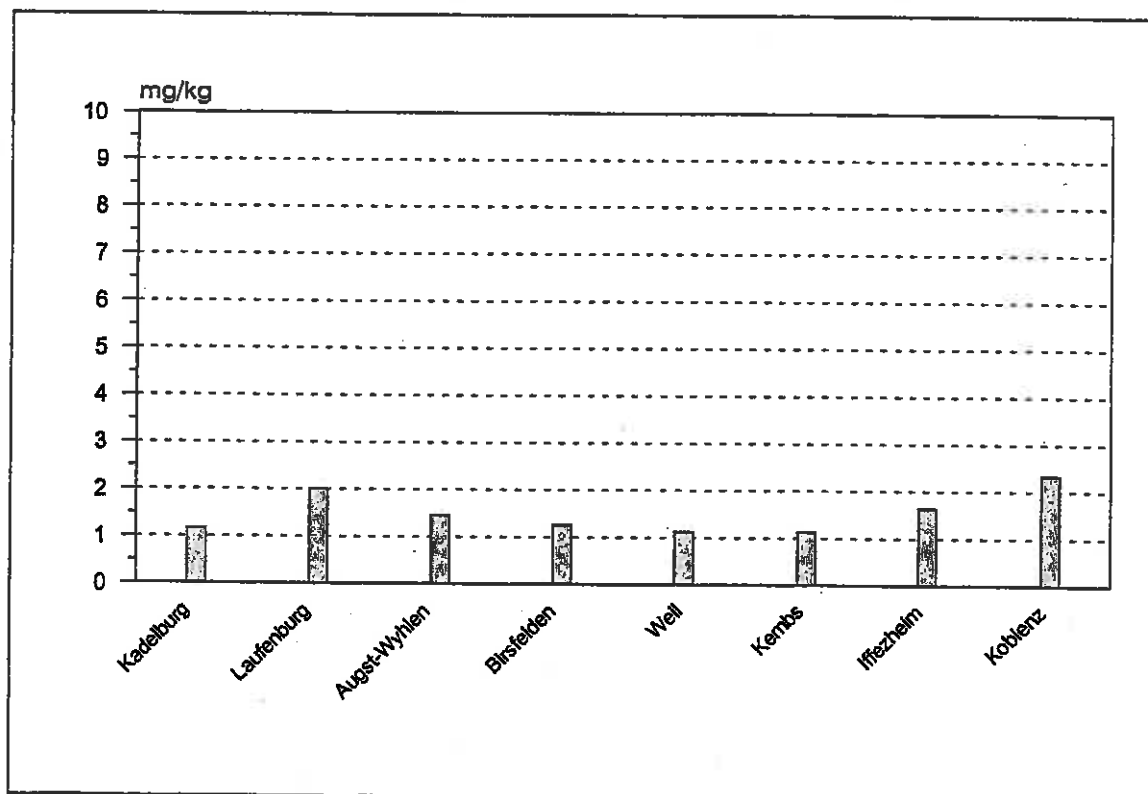


Fig 3.6.29b: Somme des HPA de la série Borneff dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

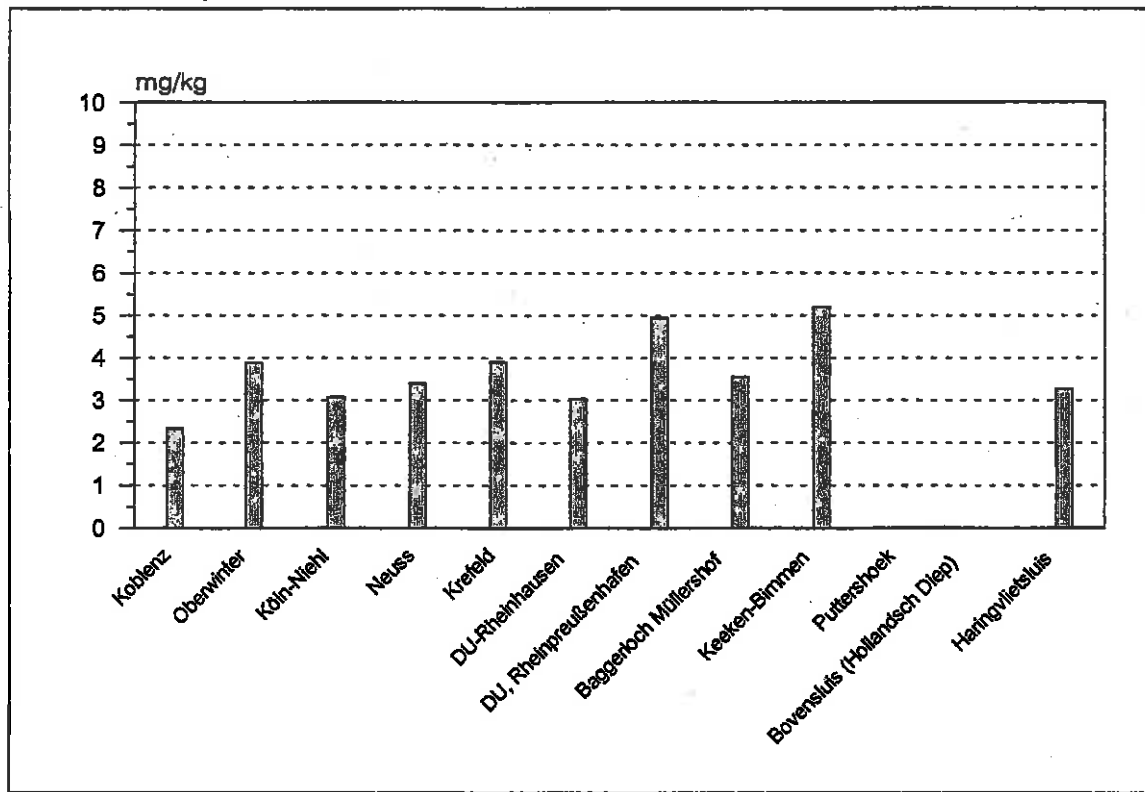
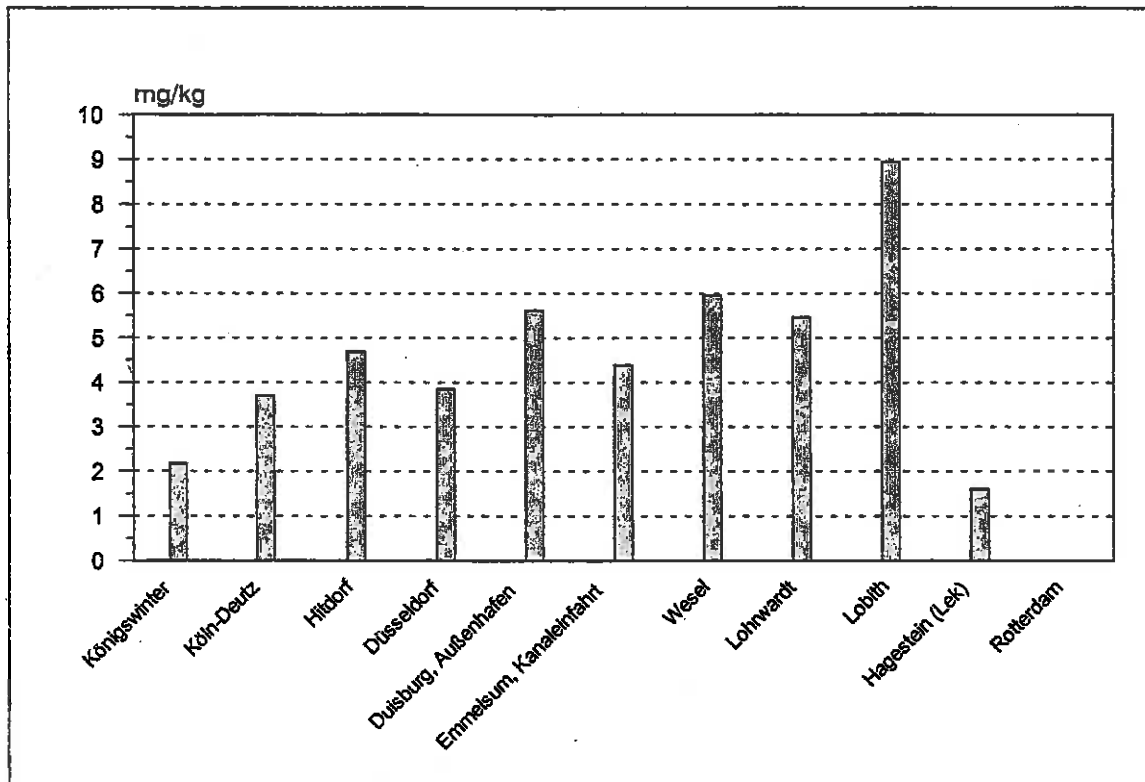


Fig. 3.6.29c: Somme des HPA de la série Borneff dans le tronçon du Rhin compris entre Königs-winter et Rotterdam, rive droite



Dans le cadre des HPA de la série EPA, les stations de Kadelburg et de Laufenburg n'ont pas été prises en compte puisque l'acénaphthène n'y a pas été mesuré et que la limite analytique de dosage du fluorène était trop élevée. Dans les autres stations de mesure du haut Rhin, la somme des 15 HPA de la série EPA atteint env. 2,5 mg/kg. Elle s'élève à 2,15 mg/kg au passage dans le Rhin supérieur. Plus en aval, les HPA de la série EPA sont en hausse, avec 3,21 mg/kg à Iffezheim et 4,28 mg/kg à Coblenz. Alors que la rive droite présente un niveau similaire à la sortie du Rhin moyen, la somme des HPA de la série EPA poursuit sa progression sur la rive gauche, atteignant 7,42 mg/kg à Oberwinter. Bien que soumis à de légères fluctuations, ce niveau de contamination se maintient dans la plupart des stations situées sur la rive gauche du Rhin inférieur, à l'exception du Duisburger Rheinpreußenhafen et de Keeken-Bimmen, plus fortement pollués, avec des valeurs de l'ordre de 10 mg/kg.

Sur la rive droite du Rhin inférieur, seules les stations de Cologne et de Düsseldorf font état d'une contamination comparable à celle de la rive gauche. On note des teneurs en HPA de la série EPA d'env. 10 mg/kg dans les stations d'Hitdorf, de Duisbourg (Außenhafen), d'Emmelsum et de Lohrwardt. Les contaminations les plus élevées sont constatées à Wesel avec 12,8 mg/kg et surtout à Lobith avec 17,3 mg/kg.

Dans la zone deltaïque, la somme des HPA de la série EPA n'a pu être calculée qu'à Haringvlietsluis. Avec 6,3 mg/kg, la contamination y est nettement inférieure à celle du tronçon aval du Rhin inférieur.

Fig. 3.6.30a: Somme des HPA de la série EPA dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rh et Coblenz

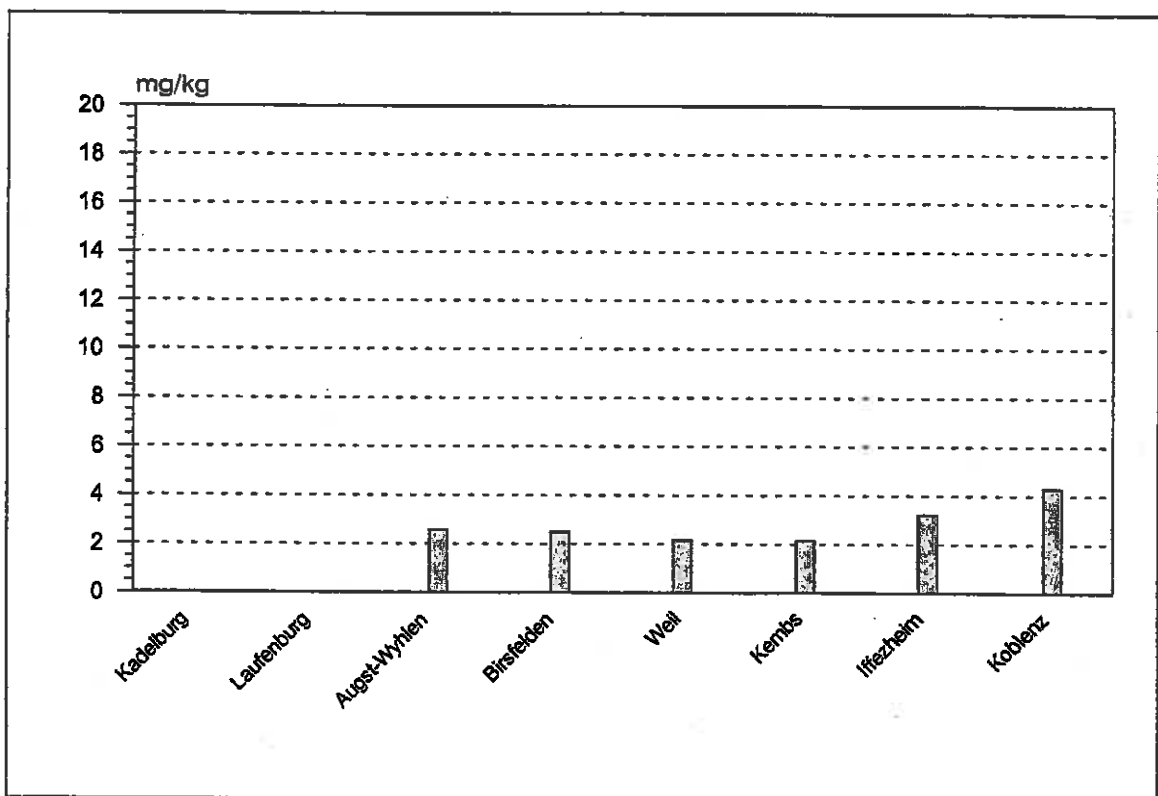


Fig. 3.6.30b: Somme des HPA de la série EPA dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

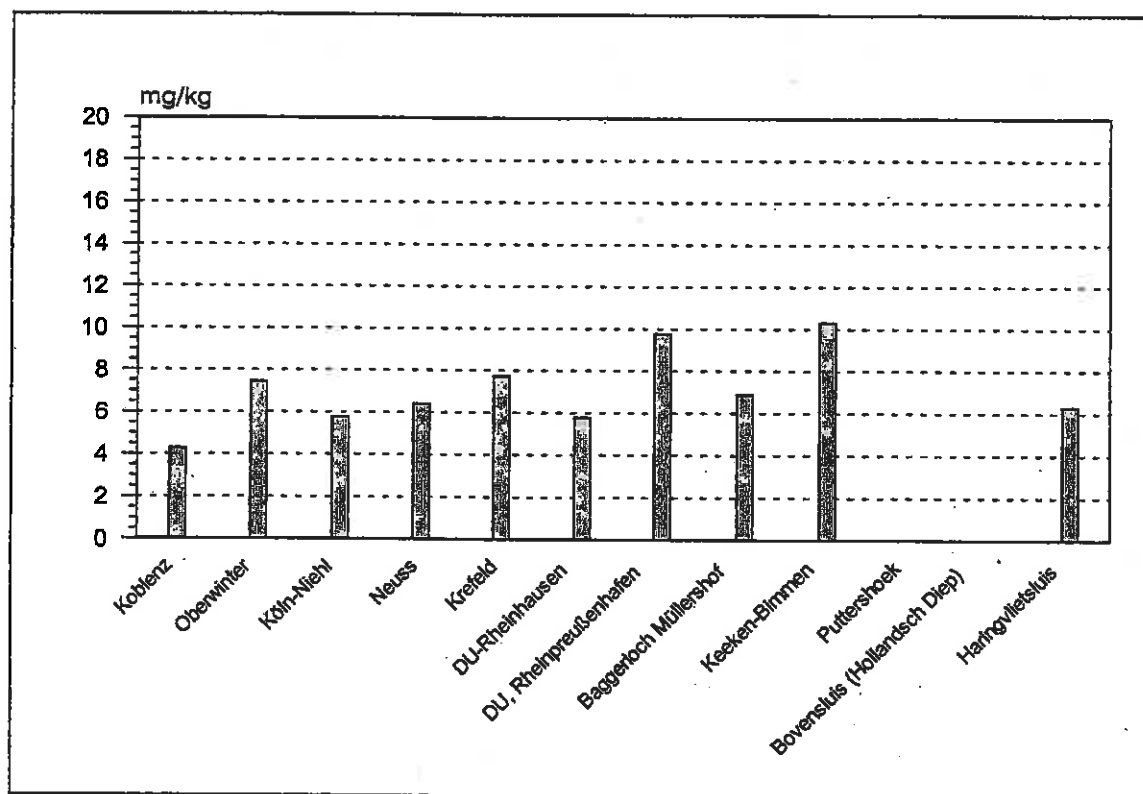
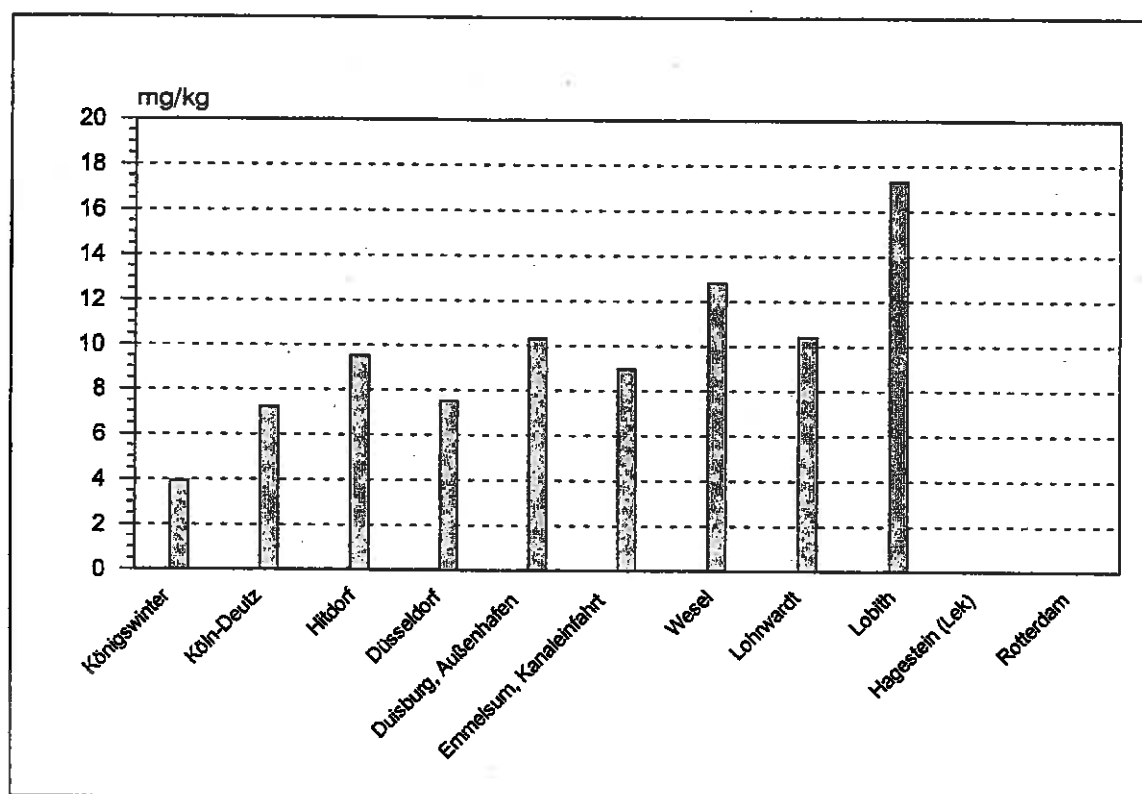


Fig. 3.6.30c: Somme des HPA de la série EPA dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.6.5 Composés organoétains

De Kadelburg sur le haut Rhin aux stations de mesure de Cologne-Niehl et d'Hitdorf sur le Rhin inférieur, les sédiments du Rhin ne présentent aucune contamination par les composés de dibutylétain. Hormis dans la station du Duisburger Rheinpreußenhafen (13 $\mu\text{g}/\text{kg}$ rapporté à l'étain), les teneurs de dibutylétain augmentent, passant de 2,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Neuss à 6,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Keeken-Bimmen. En comparaison, avec des valeurs de l'ordre de 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans le Hollandsch Diep et à Haringvlietsluis, le delta méridional est faiblement contaminé.

Sur la rive droite du Rhin par contre, toute la zone en amont du débouché de la Ruhr, à hauteur du Duisburger Außenhafen, jusqu'à Wesel, en aval du débouché de la Lippe, est plus fortement touchée, avec de valeurs de 12 et 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ respectivement. Par la suite et jusqu'à Rotterdam, dans le delta septentrional, les teneurs en dibutylétain sont de l'ordre de 6 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Fig. 3.6.31a: Dibutylétain dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenze

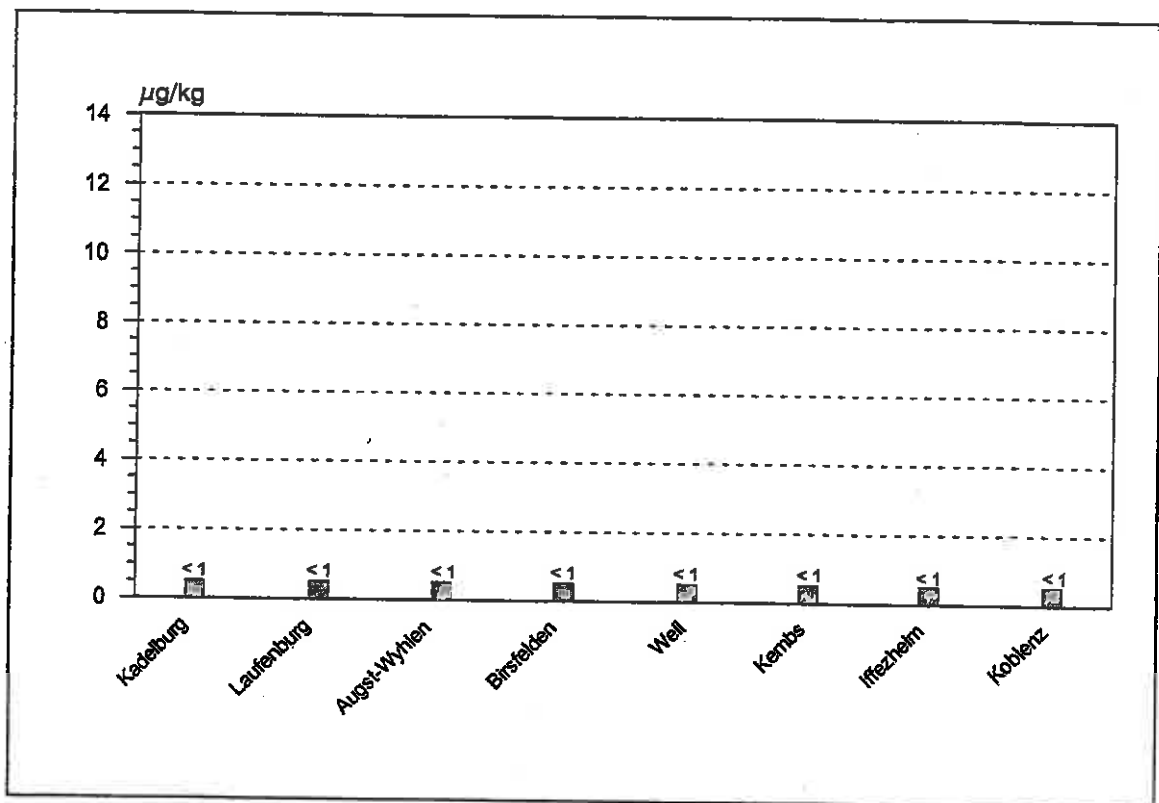


Fig. 3.6.31b: Dibutylétain dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenze et le delta, rive gauche

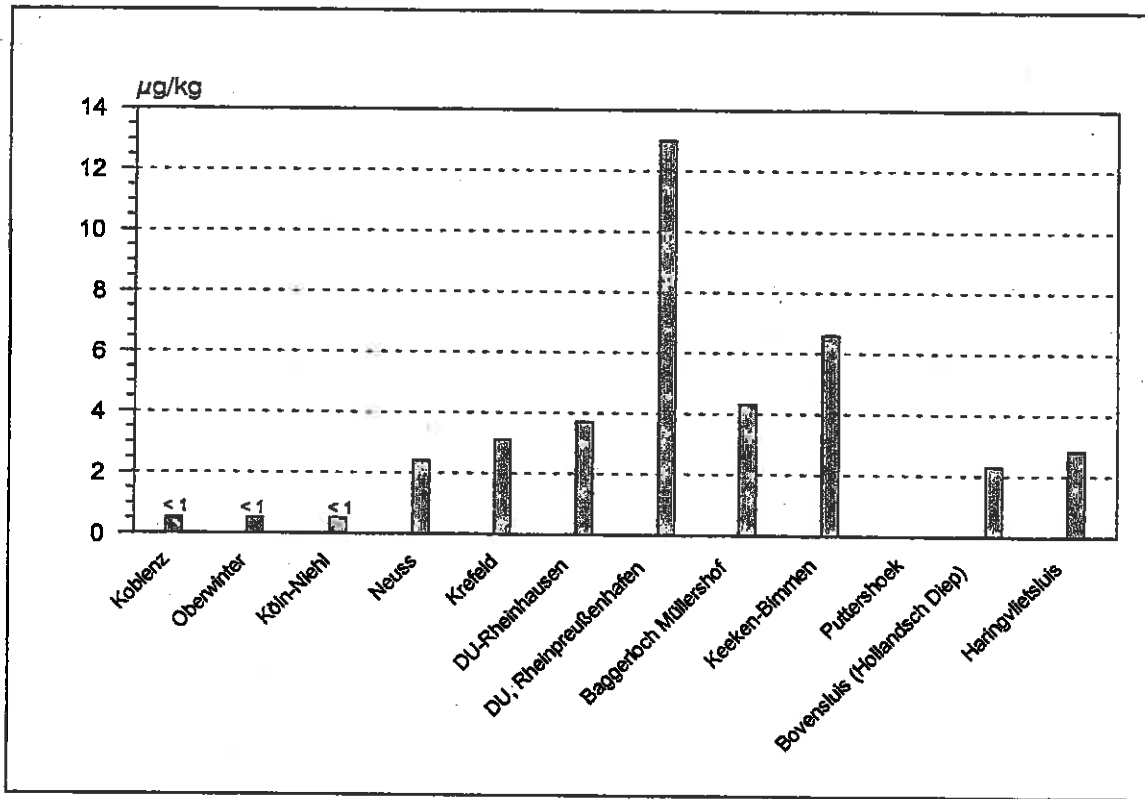
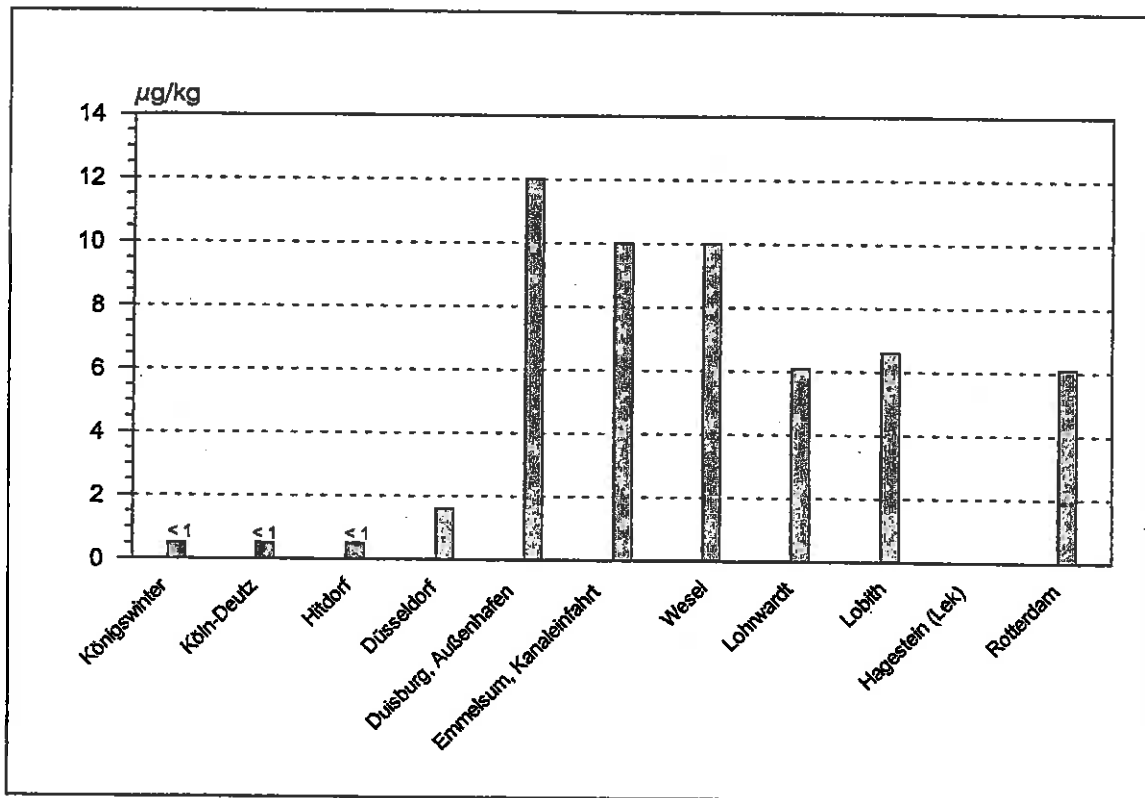


Fig. 3.6.31c: Dibutylétain dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Même si le degré de contamination reste faible, le Rhin est pollué dès Kadelburg par des apports de composés de tributylétain provenant du lac de Constance, substances entrant dans la composition de peintures antifouling. Vers l'aval, les teneurs en tributylétain augmentent progressivement et atteignent un premier pic à Coblenz avec 41 $\mu\text{g}/\text{kg}$. On note sur les deux rives du Rhin un recul de la contamination jusqu'à Cologne où la concentration est de 13 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Un nouveau pic est constaté sur la rive gauche du Rhin avec une teneur en tributylétain de 65 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans le port de plaisance de Neuss. En aval de Krefeld, où l'on obtient une valeur de 38 $\mu\text{g}/\text{kg}$, la contamination retombe sous la barre des 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans le tronçon aval du Rhin inférieur avant de remonter dans le delta méridional. La contamination maximale par le tributylétain est atteinte à Haringvlietsluis avec une concentration de 68 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Sur la rive droite du Rhin inférieur, on note des teneurs en tributylétain en hausse dans la zone comprise entre Hitdorf (28 $\mu\text{g}/\text{kg}$) et le Duisburger Außenhafen (45 $\mu\text{g}/\text{kg}$), ainsi qu'à Wesel avec 25 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Les teneurs sont de l'ordre de 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans les autres stations de mesure. Dans le delta septentrional, la station de Rotterdam accuse un pic de pollution par le tributylétain avec 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$, valeur également constatée à Haringvlietsluis dans le delta méridional.

Fig. 3.6.32a: Tributylétain dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

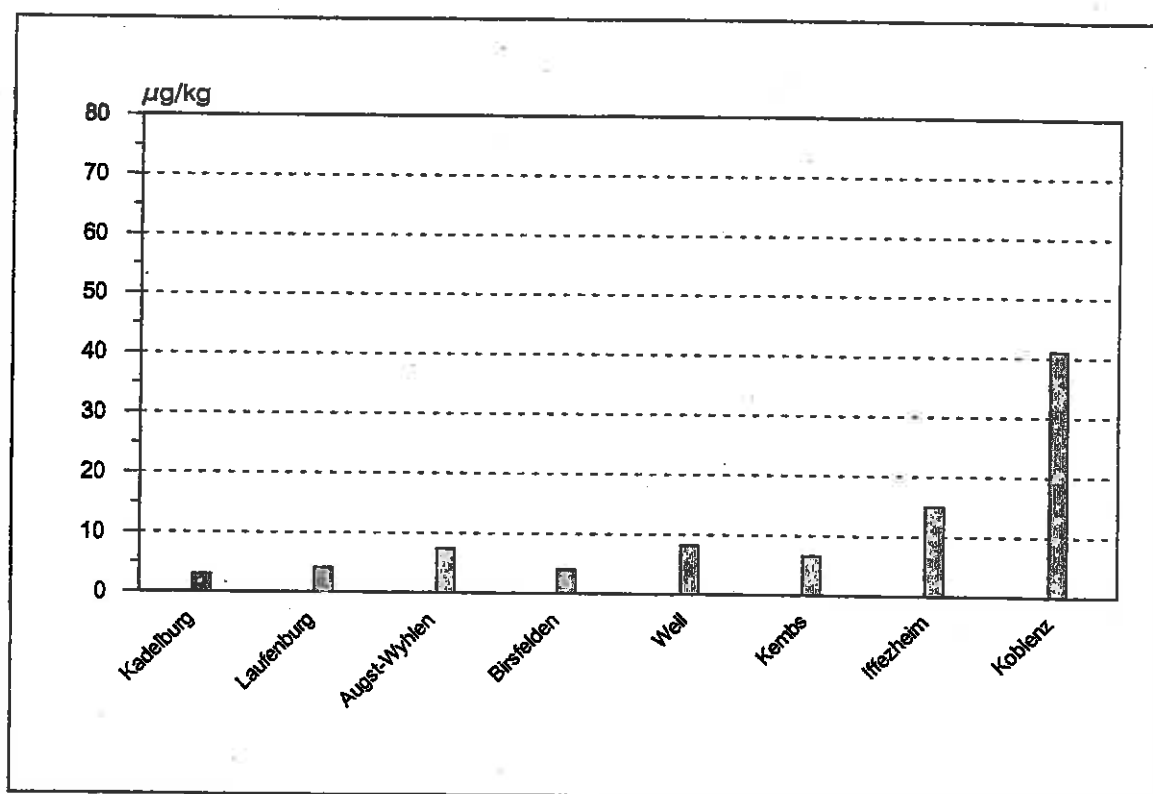


Fig. 3.6.32b: Tributylétain dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

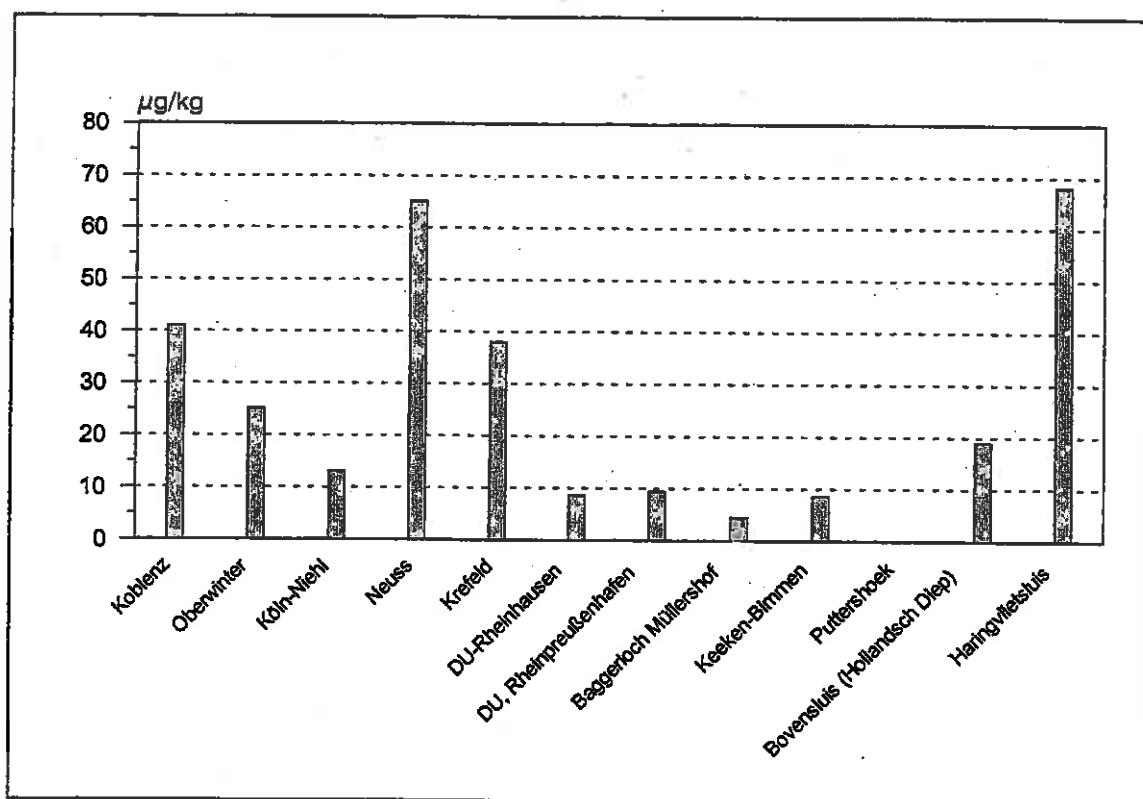
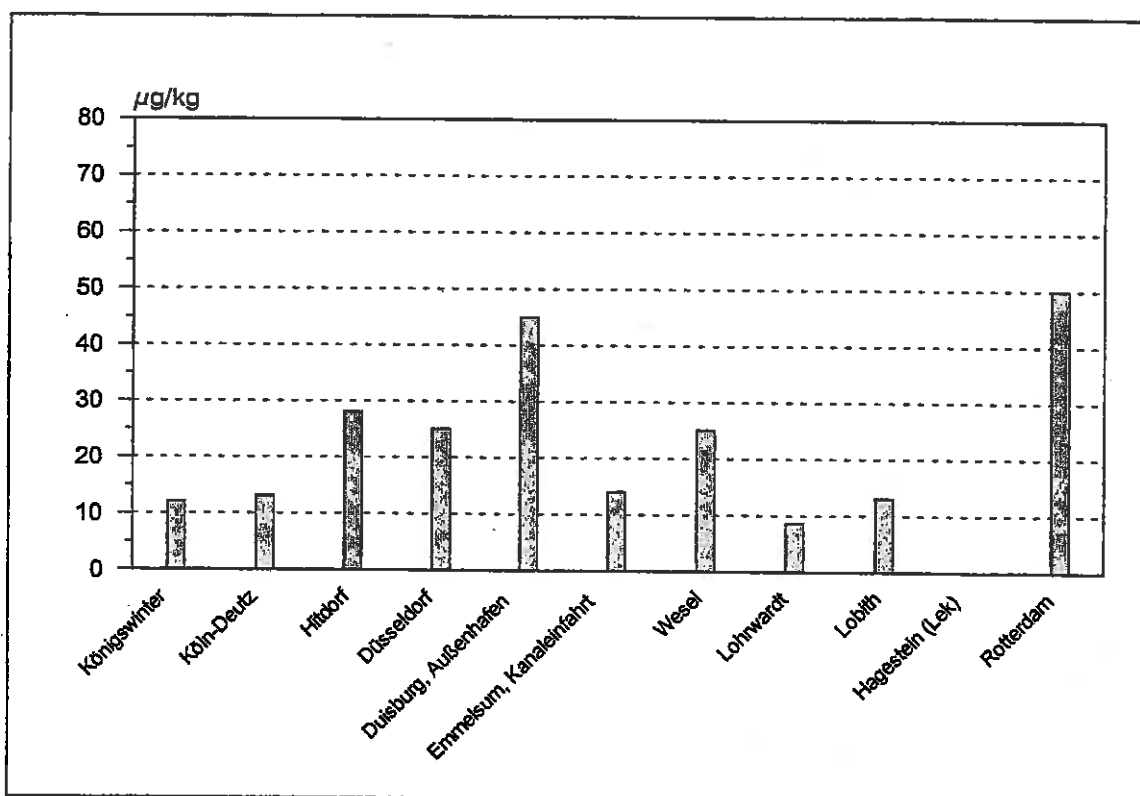


Fig. 3.6.32c: Tributylétain dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



De la station de Kadelburg sur le haut Rhin à celle de Kembs sur le Rhin supérieur, de même qu'à la station d'Oberwinter sur la rive droite du Rhin moyen, le Rhin ne présente aucune contamination par les composés de dioctylétain. Les premières concentrations mesurables apparaissent à Iffezheim et Coblenz, avec plus de 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Alors que l'on ne constate sur la rive gauche une teneur surélevée en dioctylétain qu'à Cologne, une zone de forte contamination s'étend sur la rive droite du Rhin de Königswinter à Düsseldorf où l'on obtient avec 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ une teneur maximale. A l'exception de la station de mesure de Wesel, la pollution décroît plus en aval sur les deux rives du Rhin inférieur et rejoint le niveau du tronçon compris entre Iffezheim et Coblenz.

A l'opposé de la situation observée dans le delta septentrional, avec une valeur de 2,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Rotterdam, la teneur en dioctylétain augmente dans le delta méridional pour atteindre 5,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Haringvlietsluis.

Fig. 3.6.33a: Dioctylétain dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

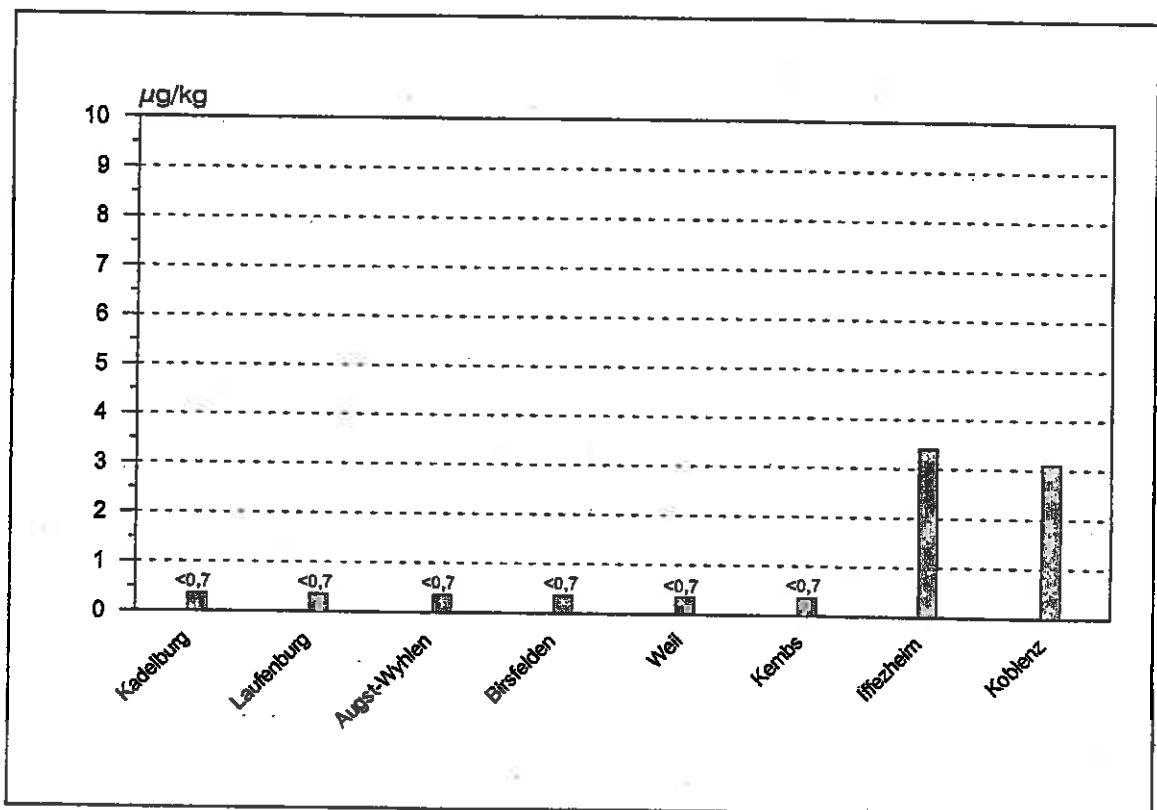


Fig. 3.6.33b: Dioctylétain dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

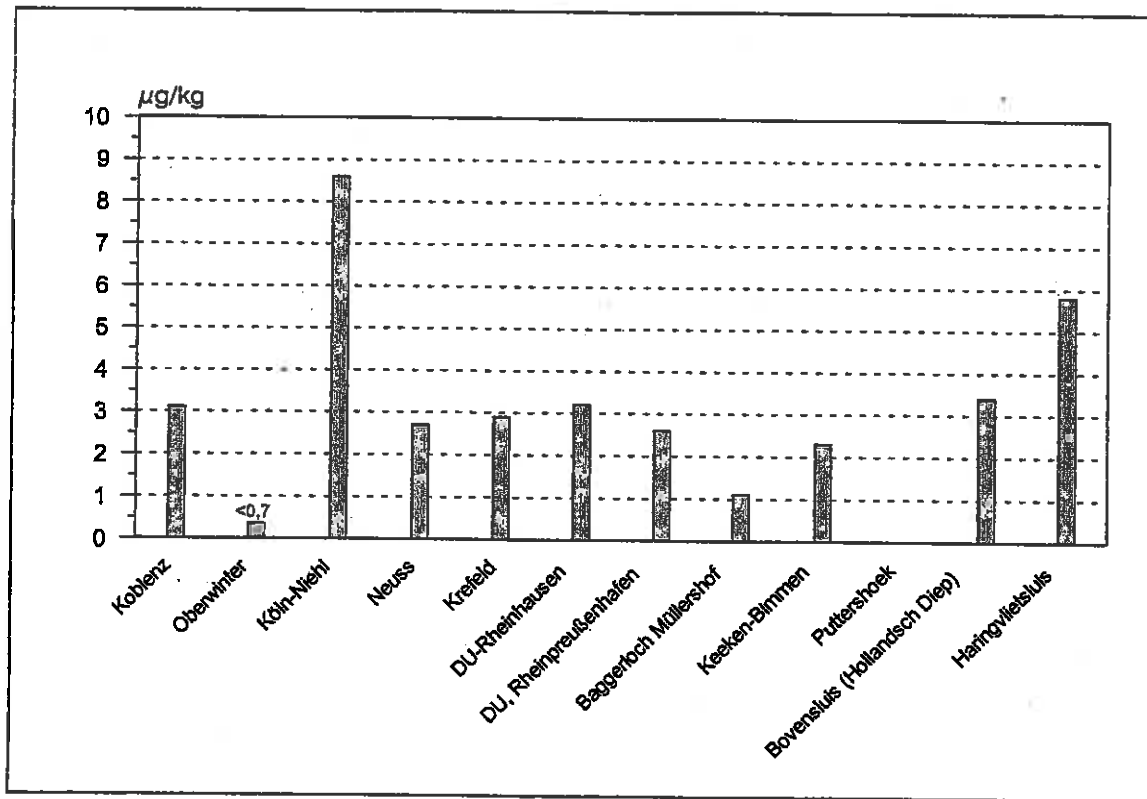
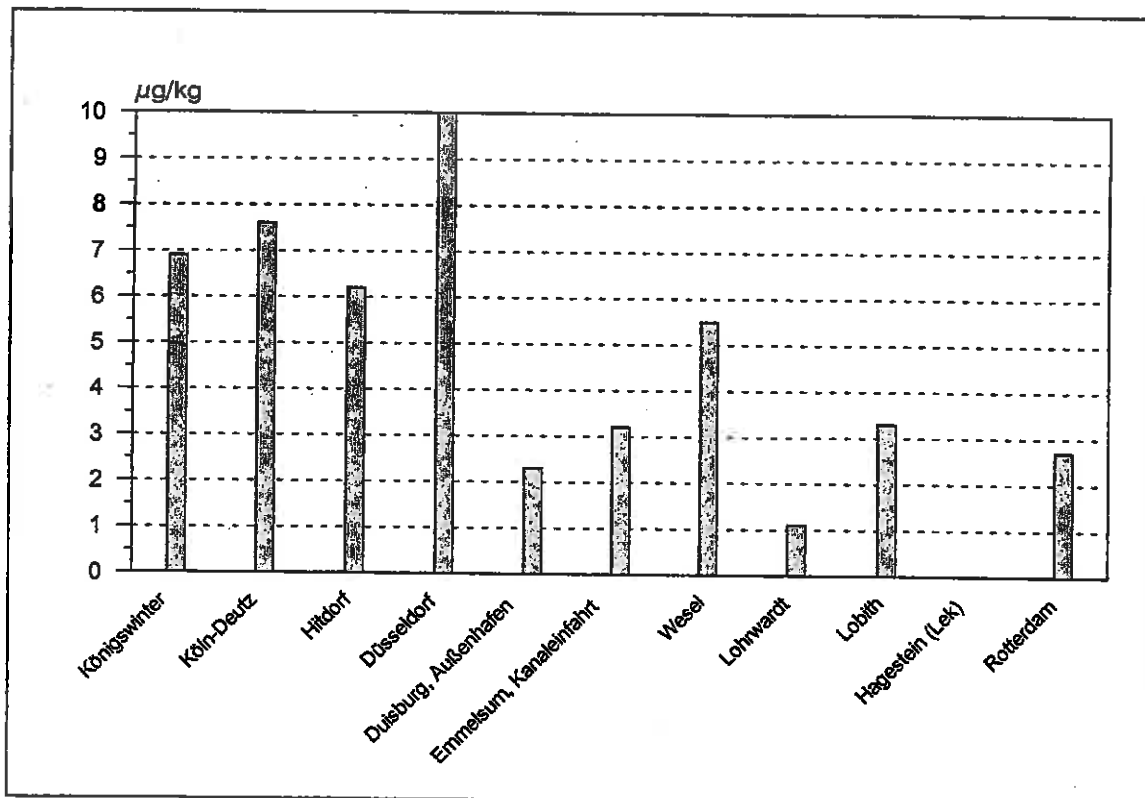


Fig. 3.6.33c: Dioctylétain dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



Les composés de triphénylétain suivent une évolution radicalement différente de celle de tous les composés organoétains examinés dans les pages précédentes. A partir de Kadelburg, avec une valeur de 0,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$, on constate déjà dans le haut Rhin des concentrations de l'ordre de 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ qui se poursuivent dans le Rhin supérieur et plus en aval de Coblenz à Cologne, avec des valeurs légèrement surélevées cependant à Weil avec 4,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ et à Königwinter avec 5,8 $\mu\text{g}/\text{kg}$. On trouve les premiers pics de contamination en aval de Cologne, avec 14 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Hitdorf et 17 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Neuss. En revanche, le tronçon aval du Rhin inférieur peut être considéré dans son ensemble comme non pollué.

Alors que les stations de Bovenluis dans le delta méridional et de Rotterdam dans le delta septentrional ne présentent qu'une faible contamination, on enregistre à Haringvlietsluis la concentration maximale de composés de triphénylétain avec une valeur de 18 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Fig. 3.6.34a: Triphénylétain dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

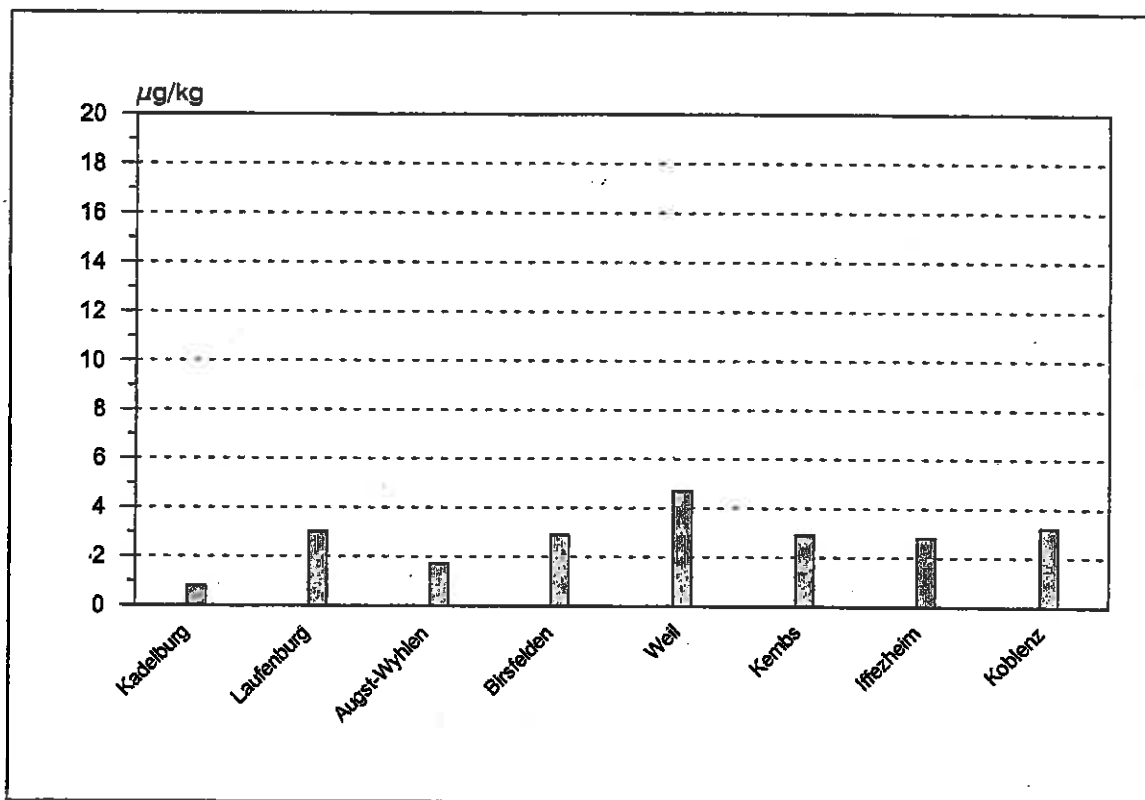


Fig. 3.6.34b: Triphénylétain dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

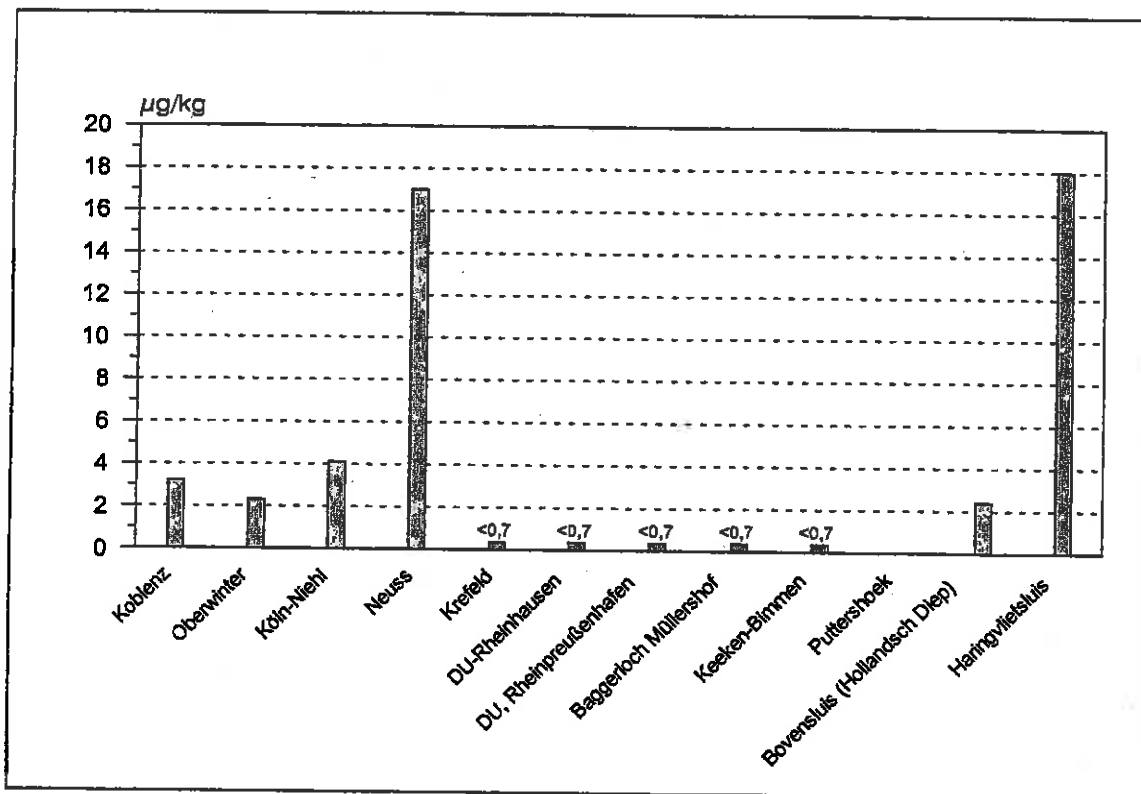
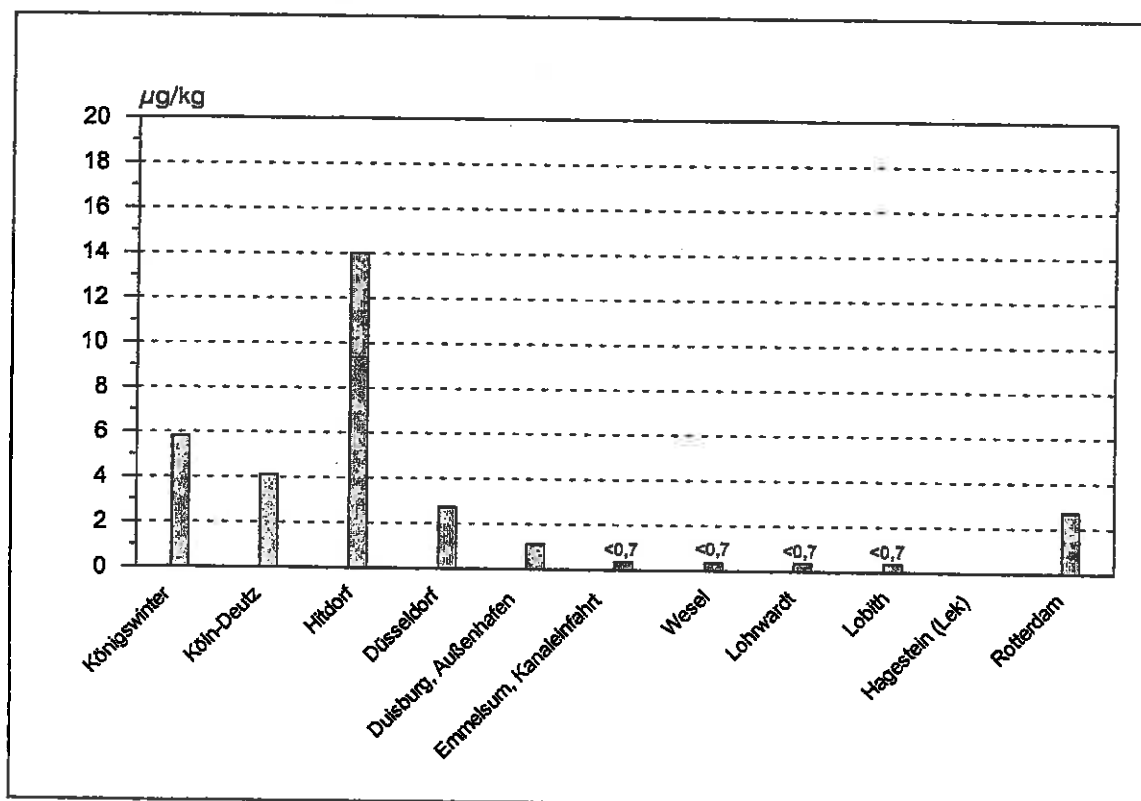


Fig. 3.6.34c: Triphénylétain dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



3.6.6 Autres micropolluants organiques

Ce point traite des substances organiques dont les concentrations sont très basses et sont donc le plus souvent inférieures ou très légèrement supérieures à la limite analytique de dosage.

En dehors des stations internationales de mesure, les composants du groupe des DDT n'ont été analysés qu'à Kadelburg, Laufenburg et Kembs. Ces stations peuvent être considérées comme pratiquement exemptes de toute contamination.

Parmi les isomères de l'hexachlorocyclohexane (HCH), l'α-HCH n'est détecté qu'à Lobith avec 2 µg/kg. Les concentrations restent inférieures à la limite analytique de dosage de 1 µg/kg dans toutes les autres stations de mesure. Deux stations situées sur la rive gauche du Rhin inférieur accusent des teneurs surélevées de β-HCH. Il s'agit de Köln-Niehl, avec 35 µg/kg, et de Duisburg-Rheinhausen, avec 20 µg/kg. On note également de faibles concentrations à Iffezheim, Coblenz, Oberwinter, Königswinter, Hitdorf et Lohrwardt, alors que toutes les autres stations sont exemptes de pollution. Il n'est détecté de γ-HCH (lindane) qu'à Düsseldorf, avec une valeur de 1 µg/kg. Il en va de même pour le δ-HCH qui n'apparaît en faibles concentrations que dans les stations de Köln-Niehl, Neuss et Krefeld. Les stations internationales de mesure mises à part, l'ε-HCH n'a été analysé qu'à Kadelburg et Laufenburg sans qu'aucune contamination n'ait pu être constatée.

La présence de drines et autres biocides fortement chlorés n'est constatée qu'à hauteur des stations de mesure de Laufenburg, Lobith et Keeken-Bimmen. Les teneurs des substances détectées, à savoir dieldrine, isodrine, endrine et télodrine, ne sont que légèrement supérieures à la limite analytique de dosage de 1 µg/kg.

Les tétrachlorobenzyltoluènes (TCBT), substitués des PCB utilisés dans l'industrie houillère au cours des années 80, sont détectés en faibles concentrations dans la plupart des stations de mesure. On obtient notamment des teneurs un peu plus élevées, allant de 15 à 35 µg/kg, comme somme des 6 isomères analysés, notamment dans les stations d'Emmelsum, de Wesel et de Lobith, situées dans le rayon d'influence d'eaux d'exhaure, ainsi qu'à Laufenburg dans le haut Rhin et à Haringvlietsluis dans le delta méridional également. En revanche, les stations de mesure de Kadelburg, Augst-Wyhlen, Kembs, Königswinter et de la gravière de Müllershof sont exemptes de pollution.

De faibles concentrations d'octachlorostyrène sont mesurées dans le haut Rhin à Laufenburg ainsi que dans la plupart des stations de mesure en aval d'Iffezheim. La teneur maximale est obtenue à Hitdorf avec 3,6 µg/kg.

Parmi les stations de mesure du haut Rhin et du Rhin supérieur, seules Laufenburg et Weil recèlent du 2,4-dichlorotoluène avec des valeurs de l'ordre de 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Alors que la teneur en 2,4-dichlorotoluène s'élève à 4,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Coblenz, les concentrations varient entre 1,2 et 3,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ vers l'aval jusqu'à Keeken-Bimmen. Sur la rive droite, par contre, deux pics de contamination apparaissent, avec une teneur maximale de 18 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Hitdorf et une valeur de 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ à Lobith. A l'exception de l'entrée du canal d'Emmelsum (5,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$), les stations de mesure situées sur la rive droite du Rhin moyen et du Rhin inférieur présentent des teneurs de l'ordre de 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$. On relève un autre pic de contamination à Haringvlietsluis dans le delta méridional avec une concentration de 12 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Fig. 3.6.35a: 2,4-dichlorotoluène dans le tronçon du Rhin compris entre le haut Rhin et Coblenz

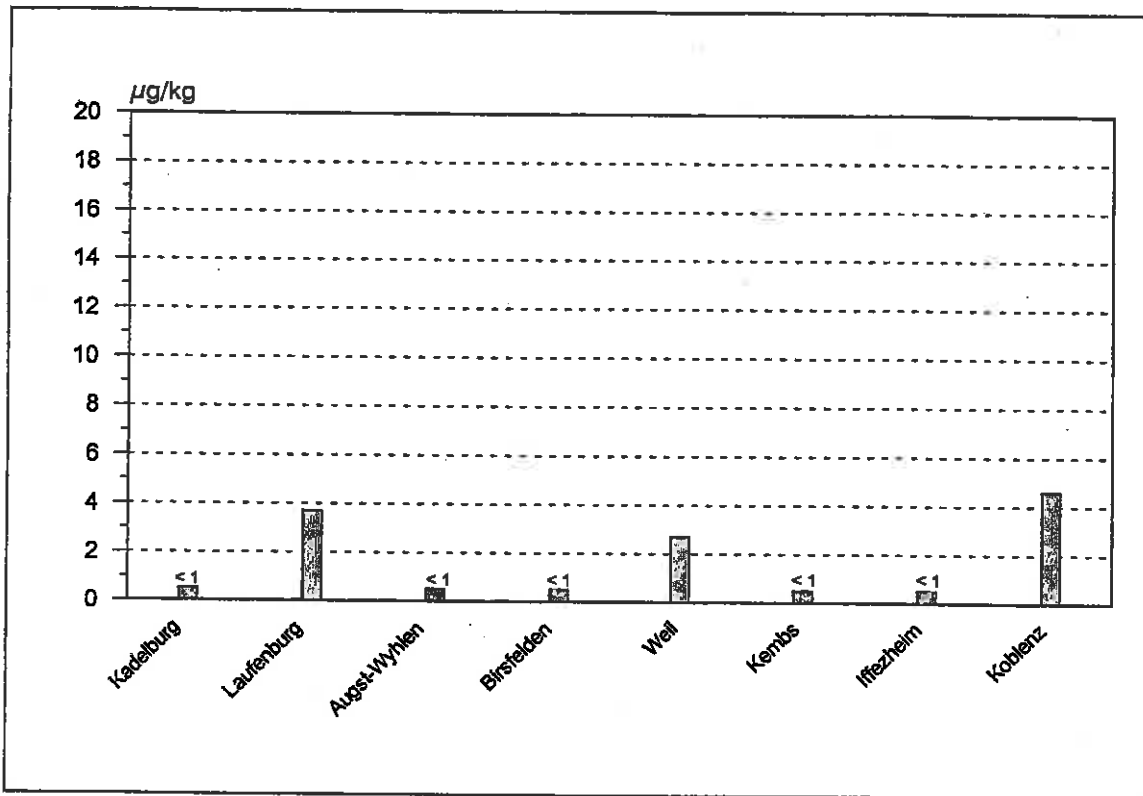


Fig. 3.6.35b: 2,4-dichlorotoluène dans le tronçon du Rhin compris entre Coblenz et le delta, rive gauche

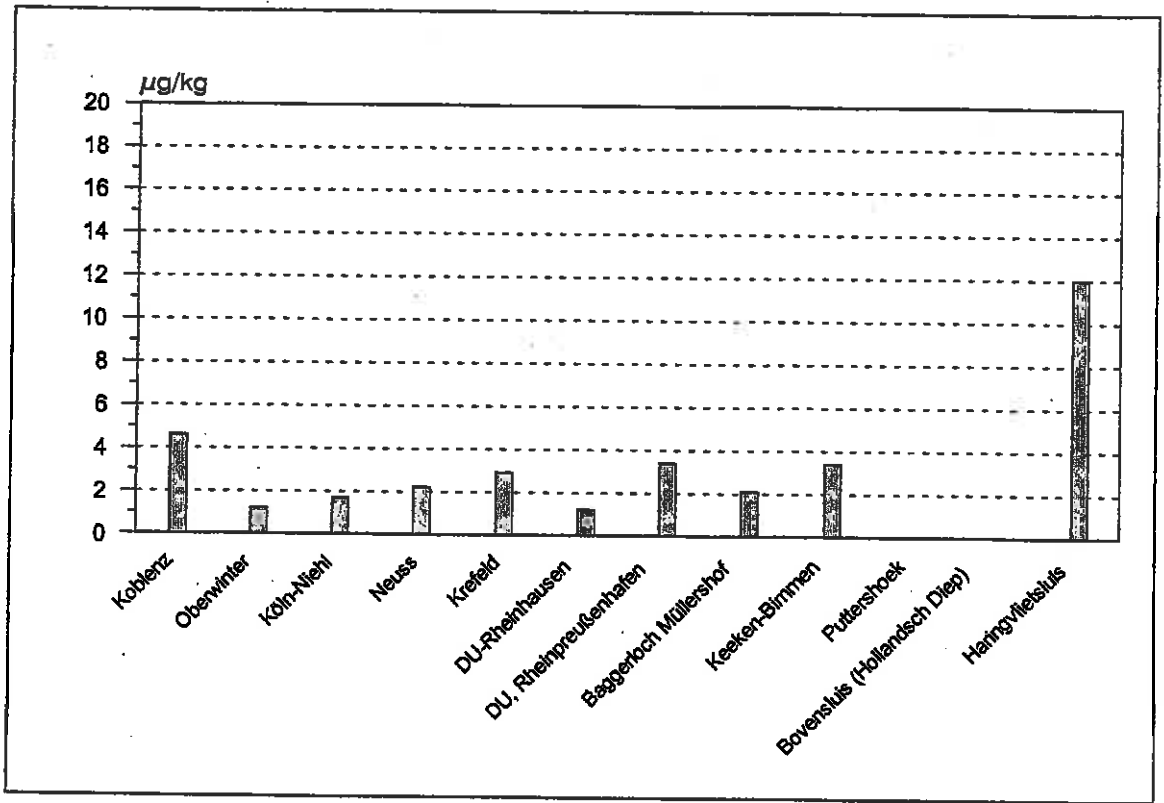
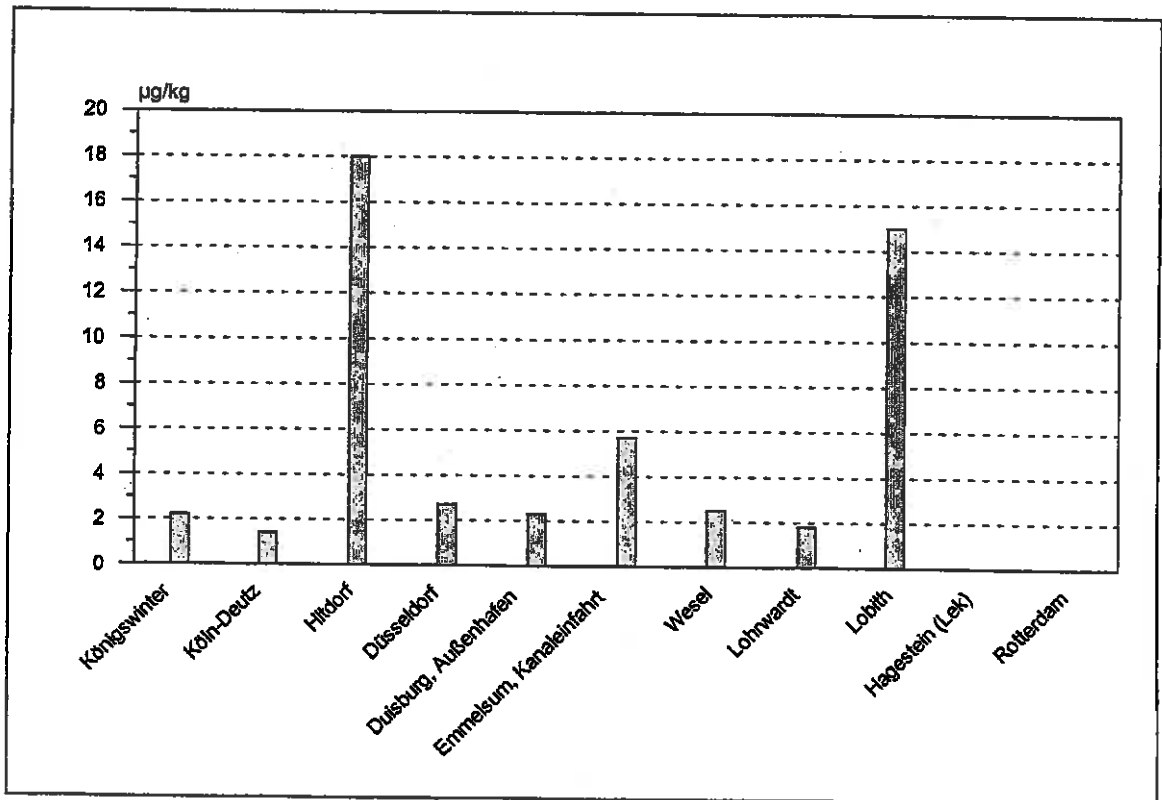


Fig. 3.6.35c: 2,4-dichlorotoluène dans le tronçon du Rhin compris entre Königswinter et Rotterdam, rive droite



4. Synthèse

Le présent chapitre rassemble les principaux résultats du programme national de mesure des sédiments de 1995. Pour offrir une meilleure vue d'ensemble, les résultats du programme international d'étude ont également été pris en compte. Les métaux lourds et l'arsenic ont été analysés dans la fraction $< 20 \mu\text{m}$ afin que l'on puisse détecter des contaminations éventuelles même en présence d'un pourcentage élevé de particules à grains grossiers. Toutes les autres analyses ont été effectuées dans l'échantillon global ($< 2000 \mu\text{m}$).

A l'opposé de l'inventaire 1990, les prélèvements dans les stations nationales de mesure et le programme international de mesure des sédiments se sont déroulés simultanément, de sorte que les résultats peuvent être très facilement comparés. En outre, les Länder fédéraux allemands de Bade-Wurtemberg et de Rhénanie-Palatinat ont mis à disposition les résultats de leurs études sur les sédiments.

Hydrologie

Lors des prélèvements de septembre 1995, le débit à Lobith était de $2000 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui correspond à peu près au débit pluriannuel moyen du Rhin à hauteur de cette station. Après une crue de grande ampleur en janvier 1995, la dernière petite crue remontait à trois mois, de sorte qu'une couche récente de sédiments était présente en quantité suffisante dans toutes les stations de mesure. On émettra quelques réserves uniquement dans le cas des échantillons bade-wurtembourgeois, qui ont été prélevés en novembre 1995 en phase ascendante des eaux et qui peuvent donc présenter un pourcentage plus élevé de sédiments anciens.

Datation et assurance de la qualité

Presque tous les échantillons prélevés dans les stations nationales se composaient de sédiments récents avec un faible pourcentage de particules de sol subhydrique. Il sont donc aisément comparables à ceux des études internationales. Seules font exception les stations de mesure d'Hagestein et de Puttershoek dans le delta, avec des pourcentages élevés de particules de sol subhydriques, ainsi que celle de Rotterdamse Hoek sur l'IJsselmeer, où la teneur élevée en césium 137 détectée dans les sédiments fait entrer ceux-ci dans la catégorie des sédiments du Rhin de la fin des années quatre-vingts.

Répartition granulométrique

Dans la plupart des stations de mesure, la répartition granulométrique suit une évolution très uniforme avec un pourcentage de la fraction $< 20 \mu\text{m}$ de l'ordre de 40 à 50 % dans le tronçon reliant le haut Rhin et Coblenze ainsi que sur la rive gauche du Rhin inférieur, et de 50 à 60 % sur la rive droite du Rhin inférieur. A hauteur des stations de Kadelburg sur le haut Rhin et de Kembs sur le Rhin supérieur, le pourcentage de la fraction $< 20 \mu\text{m}$ n'est que de 30 %. La part de limon fin la plus élevée est en revanche constatée dans les stations de Köln-Niehl et de Krefeld avec 60 %, et dans celle d'Haringvlietsluis avec 72 %.

Avec un ordre de grandeur de 70 à 80 %, la fraction $< 63 \mu\text{m}$ est fortement représentée dans la plupart des stations de mesure. Cette fraction s'élève même à 85 – 90 % dans quelques stations. Seules les stations de Kadelburg, Kembs, Lohrwardt et Keeken-Bimmen ont un pourcentage de grains fins inférieure à 70 %. Keeken-Bimmen est également celle présentant la part la plus élevée de grains grossiers ($> 630 \mu\text{m}$), cette fraction restant nettement inférieure à 10 % dans toutes les autres stations.

Paramètres généraux

Dans les stations de mesure de Kadelburg et de Laufenburg, situées les plus en amont sur le haut Rhin, les teneurs en COT sont inférieures à 2 %. Elles sont ensuite de l'ordre de 2,5 % jusqu'à Coblenche et montent à 3 % dans le tronçon du Rhin traversant la Rhénanie-du-Nord-Westphalie, hormis dans les stations de Wesel et de Lobith à la frontière germano-néerlandaise. Dans la zone d'influence de la Lippe, ces deux stations ont des teneurs en COT nettement supérieures à 4 %. Des teneurs très basses en COT sont constatées dans le delta, avec 1,3 % à Puttershoek et env. 2 % à Hagestein sur le Lek, les autres stations du delta présentant des valeurs de l'ordre de 3,5 %.

Les teneurs en EOX varient fortement sur le cours du Rhin. Le haut Rhin recèle des teneurs entre 0,2 et 0,5 mg/kg, le Rhin supérieur des valeurs entre < 0,1 mg/kg à Weil et 0,8 mg/kg à Ifezheim. Sur la rive gauche du Rhin inférieur, les valeurs vont de 0,2 à 0,8 mg/kg, alors que l'on note un pic de contamination très prononcé sur la rive droite avec 1,5 mg/kg à Hildorf. En 1993, les études du LUA avaient fait apparaître une contamination nettement moins importante, avec une valeur de 0,8 mg/kg mesurée dans cette station, alors que les stations de Düsseldorf et du Duisburger Außenhafen, avec respectivement 1,3 et 1,4 mg/kg recelaient des teneurs en EOX supérieures à celles constatées en 1995.

Azote et phosphore

Les teneurs en azote (total) évoluent peu sur le profil longitudinal du Rhin. Elles sont de l'ordre de 2 g/kg dans le haut Rhin et de 3 g/kg dans le Rhin inférieur, hormis à la station de Wesel qui accuse une teneur en azote de 4 g/kg.

Les teneurs en phosphore sont inférieures à 1 g/kg dans le haut Rhin et le Rhin supérieur et passent à 1,5 g/kg à partir de Coblenche. Quelques stations de mesure présentent cependant des teneurs en phosphore dépassant 2 g/kg, à savoir Neuss et Lobith sur le Rhin inférieur et Bovenluis et Haringvlietsluis dans le delta méridional.

Métaux lourds et arsenic

Alors que les teneurs en métaux lourds détectées dans le haut Rhin se situent le plus souvent dans un ordre de grandeur correspondant au bruit de fond, on relève dans le Rhin inférieur, notamment sur sa rive droite, et dans la zone deltaïque, quelques points noirs de contamination avec des dépassements notables des objectifs de référence. Dans le cas du cadmium, les stations du Duisburger Außenhafen et de Lobith sur la rive droite du Rhin inférieur sont principalement touchées. Dans le delta, il s'agit principalement des stations méridionales de Bovenluis dans le Hollandsch Diep et d'Haringvlietsluis. L'objectif de référence fixé pour le chrome n'est nettement dépassé qu'au Duisburger Außenhafen alors que celui du cuivre l'est en outre à Lobith. A quelques petites variations près, les teneurs en nickel évoluent dans l'ordre de grandeur de l'objectif de référence dans toutes les stations de mesure. On note une contamination sensible par le mercure dans les stations d'Hildorf et de Lobith sur la rive droite du Rhin inférieur ainsi que sur l'ensemble de la zone deltaïque. Le zinc est le métal lourd dont les teneurs dépassent le plus fréquemment l'objectif de référence. On constate un premier dépassement dès la station de Brohl sur le Rhin moyen. Cette situation se répète par la suite dans de nombreuses stations du Rhin inférieur, sur les deux rives, et s'étend également à l'ensemble du delta, la station du Duisburger Außenhafen présentant, comme pour le cadmium, le chrome et le cuivre, la contamination la plus élevée. Grâce au net recul observé au cours des dernières années, les teneurs en plomb évoluent dans l'ordre de grandeur de l'objectif de référence dans toutes les stations du Rhin moyen et du Rhin inférieur, de même que dans le delta. Les teneurs en arsenic varient peu sur le profil longitudinal du Rhin. Elles

passent d'env. 10 mg/kg dans le haut Rhin à env. 15 mg/kg dans le Rhin supérieur et le Rhin moyen et atteignent des valeurs de l'ordre de 20 mg/kg dans le Rhin inférieur. A la frontière germano-néerlandaise ainsi que dans le delta, les teneurs en arsenic évoluent entre 20 et 30 mg/kg et se maintiennent donc dans l'ordre de grandeur de l'objectif de référence.

Micropolluants organiques

Parmi les nombreux micropolluants organiques, les analyses dans les sédiments ont notamment fait ressortir en concentrations nettement mesurables les benzènes polychlorés, les PCB, les „dioxines“, les HPA et les composés organoétains. Les pesticides organochlorés et leurs produits de décomposition ou métabolites n'ont en revanche pu être détectés en concentrations notables que de manière isolé dans un nombre limité de stations de mesure.

La station de Kadelburg sur le haut Rhin, située en amont du débouché de l'Aare, n'est pratiquement pas touchée par les composés organochlorés. Plus en aval, on observe déjà dans le haut Rhin une légère pollution par les dichlorobenzènes, qui augmente ensuite sensiblement dans le Rhin supérieur. Sur la rive gauche du Rhin, les teneurs restent à ce niveau jusqu'à la frontière germano-néerlandaise, alors que quelques pics de contamination apparaissent sur la rive droite du Rhin inférieur. Sont particulièrement touchées ici la station d'Hitdorf, l'entrée du canal d'Emmelsum et surtout Lobith, où les teneurs en dichlorobenzène dépassent largement la barre des 100 µg/kg. Avec des teneurs allant jusqu'à 100 µg/kg (1,4-dichlorobenzène) à Haringvlietsluis, le delta est également nettement plus contaminé que la rive gauche du Rhin inférieur.

Les isomères 1,2,4-trichlorobenzène et 1,3,5-trichlorobenzène suivent une évolution similaire. Les teneurs les plus élevées sont à nouveau obtenues à Hitdorf, à Emmelsum dans le delta, ainsi qu'à Lobith où la teneur maximale en 1,2,4-trichlorobenzène est enregistrée avec une valeur de 80 µg/kg. En revanche, l'isomère 1,2,3-trichlorobenzène ne joue qu'un rôle secondaire.

Alors que les teneurs en 1,2,3,4-tétrachlorobenzène et en 1,2,3,5-tétrachlorobenzène sont soit proches soit inférieures à la limite analytique de dosage de 1 µg/kg sur le profil longitudinal du Rhin dans son ensemble, un pic de contamination par le 1,2,4,5-tétrachlorobenzène ressort à hauteur de la station de Kembs sur le Rhin supérieur avec une valeur de 50 µg/kg. A l'exception de Lobith (16 µg/kg), toutes les autres stations présentent des concentrations nettement inférieures à 10 µg/kg.

A hauteur de la station d'Augst-Wyhlen, en aval de Rheinfelden, on constate déjà une contamination relativement élevée par l'hexachlorobenzène (HCB). Hormis à Birsfelden, cette pollution s'étend tout d'abord jusqu'à Weil puis atteint ses teneurs maximales à hauteur des chutes du Rhin supérieur entre Kembs et Iffezheim, avec des valeurs de l'ordre de 300 µg/kg. En aval du fossé du Rhin supérieur, les teneurs varient plus ou moins fortement autour de 50 µg/kg jusqu'à la frontière germano-néerlandaise. En revanche, avec env. 10 µg/kg, la contamination du delta peut être considérée comme faible.

La pollution par les polychloro-biphényles (PCB) reste faible dans le haut et le Rhin supérieur jusqu'à Kembs. A partir d'Iffezheim, les teneurs progressent, atteignant sur la rive gauche du Rhin inférieur des valeurs de l'ordre de 50 µg/kg pour la somme des 6 congénères PCB 28, 52, 101, 138, 153 et 180, à l'exception de la station d'Haringvlietsluis dans le delta qui accuse une plus forte contamination avec 100 µg/kg. La rive droite du Rhin inférieur est en revanche un point noir de pollution, avec un pic au Duisburger Außenhafen (370 µg/kg), comme pour la plupart des métaux lourds. Ici, la pollution est principalement due aux congénères fortement chlorés, alors que les deux autres stations fortement contaminées, Hitdorf (205 µg/kg) et Lobith (155 µg/kg), présentent un modèle de répartition relativement homogène.

Sur le haut Rhin, la contamination par les dioxines, exprimée en équivalents de toxicité internationaux (ITEQ), est faible. On relève des valeurs de l'ordre de 25 ng/kg dans le tronçon du Rhin supérieur et celui du Rhin moyen, hormis dans la station d'Oberwinter, qui est moins polluée. Alors que ce niveau se maintient sur la rive gauche du Rhin inférieur jusqu'en amont de la frontière germano-néerlandaise, les teneurs en dioxines sur la rive droite augmentent régulièrement jusqu'à un pic de 73 ng/kg à Lobith. Avec 63 ng/kg, la contamination atteint à Keeken-Bimmen un ordre de grandeur similaire qui s'étend jusque dans le delta. Les dioxines sont les seules substances prioritaires pour lesquelles des objectifs de référence n'ont pas été déterminés. La valeur limite de 100 ng/kg ITEQ en vigueur en Suisse et en Allemagne pour le sable dans les terrains de jeu et utilisée ici à titre d'orientation n'est toutefois dépassée dans aucune des stations analysées.

Les teneurs du représentant le plus toxique des dioxines, le 2,3,7,8-TCDD, sont toutes inférieures à la limite analytique de dosage dans le haut Rhin. La contamination augmente très légèrement dans le Rhin supérieur, où elle atteint 2 ng/kg, niveau qu'elle conserve jusqu'à Cologne. Alors que les teneurs ne progressent que lentement sur la rive gauche du Rhin inférieur, avec 4,6 ng enregistrés à Keeken-Bimmen, on note deux pics de contamination sur la rive droite du Rhin, avec 10 ng/kg à Emmelsum et surtout 24 ng/kg à Lobith. La hausse des concentrations de 2,3,7,8-TCDD se poursuit dans le delta avec des valeurs dépassant 10 ng/kg dans la partie méridionale et 28 ng/kg à Rotterdam. C'est là que réside la plus forte pollution sur l'ensemble du bassin du Rhin, cette pollution résultant pour une grande part de la contamination préalable déjà mesurable à Lobith.

La somme des 6 HPA de la série Borneff laisse apparaître une faible contamination avec des valeurs situées entre 1 et 2 mg/kg dans le haut Rhin et le Rhin supérieur. A Coblenze et Königswinter, les teneurs dépassent pour la première fois 2 mg/kg. On constate plus en aval, après des fluctuations plus ou moins fortes, une hausse sensible de la contamination avec 5,19 mg/kg à Keeken-Bimmen sur la rive gauche et 8,94 mg/kg à Lobith sur la rive droite du Rhin inférieur. Le delta est par contre nettement moins pollué.

Une évolution similaire est également observée pour les 15 HPA de la série EPA analysés. Le haut Rhin et le Rhin supérieur jusqu'à Kembs recèlent des teneurs d'env. 2 mg/kg. Elles montent à 4 mg/kg d'Iffezheim à Coblenze et Königswinter. Les teneurs en HPA augmentent ensuite beaucoup plus fortement sur la rive droite que sur la rive gauche du Rhin inférieur où l'on relève env. 10 mg/kg à Keeken-Bimmen alors que la valeur de Lobith s'élève à 17,3 mg/kg. Pour le delta, on ne dispose de données en nombre suffisant pour le calcul de la somme des HPA de la série EPA qu'à la station d'Haringvlietsluis. La contamination y est nettement plus basse qu'à la frontière germano-néerlandaise. Les principaux composants des HPA de la série EPA sont le fluoranthène et le pyrène dont les teneurs sont largement supérieures à 2 mg/kg dans les stations de mesure les plus contaminées.

A l'encontre de la plupart des micropolluants organiques, les composés organoétains, analysés pour la première fois, forment un pic de pollution à la station de mesure d'Haringvlietsluis dans le delta méridional. On note également des contaminations importantes, dues notamment aux composés de tributylétain utilisés dans les peintures antifouling, dans les stations localisées à hauteur de ports de plaisance, p.ex. Coblenze, Hitdorf et Neuss, de même qu'au Duisburger Außenhafen. Alors que l'on détecte la présence de composés de tributylétain dans toutes les stations, les principales pollutions imputables aux composés de dibutylétain et de dioctylétain sont localisées dans le Rhin inférieur. En revanche, des pollutions dues au composés de triphénylétain, substances utilisées en agriculture, ne sont constatées que dans les stations d'Hitdorf, de Neuss et d'Haringvlietsluis.

5. Annexes