

# Qualité des sédiments de la retenue de Verbois : comparaison avec les sédiments des rivières suisses et du Léman

Autor(en): **Wildi, Walter / Koukal, Brahim / Ischi, Vanessa**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences [2004-ff.]**

Band (Jahr): **59 (2006)**

Heft 2-3

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-738323>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Qualité des sédiments de la retenue de Verbois;

## comparaison avec les sédiments des rivières suisses et du Léman

Walter WILDI<sup>1</sup>, Brahim Koukal, Vanessa ISCHI et Antoine PERROUD

Ms. reçu le 16 juin 2006, accepté le 17 juillet 2006

### Abstract

#### Sediment quality of the Verbois reservoir, comparison with sediments of Swiss rivers and Lake Geneva

Sediment suspensions from the Arve river and some reworked lake sediments are entering the Verbois reservoir that has been established on the Rhone river down stream of town of Geneva in 1942. Most reservoir sediments are fine sand and silt that have been deposited in meanders and other places of low flow velocity, with decreasing grain size from the upper to the lower reservoir basin. Gravel from the Arve river are deposited at the head of the reservoir and may be transported along the main channel during flushing.

The present publication is a synthesis of former research work on the question of sediment quality (heavy metals and contamination by organic substances); it also compares results with those of actual sediments in Swiss rivers, in Lake Geneva and in three other reservoirs down stream of major urban centres: Klingnau, Mühleberg and Wettingen reservoirs. Metal concentrations in the reservoir, along the main channel of the Rhône are higher than in actual river sediments and in lake Geneva, but may be compared with concentrations in the other investigated reservoirs. Heavily contaminated sample sites for metals and organic substances (PCH, HAP) are located in the vicinity of local contamination sources: Nant de Châtillon close to the cantonal waste dump, Nant d'Avril down stream of Nant d'Avril with run off from an industrial area. These are contaminated sites in the sense of federal regulation.

**Keywords:** Reservoir, sediment contamination, Rhone river, Verbois, Geneva

### Résumé

La retenue de Verbois, localisée sur le Rhône en aval de la ville de Genève, reçoit depuis sa mise en service en 1942 les eaux chargées de suspensions de l'Arve et l'écoulement du Rhône à la sortie du Léman. Le gros des dépôts est formé de sables fins et de silts, avec une décroissance granulométrique du haut vers le bas du réservoir. Les graviers de l'Arve se déposent à l'entrée et au fond du chenal principal du réservoir.

Ce travail présente une synthèse de différentes recherches concernant la qualité des sédiments accumulés dans la retenue (métaux lourds et substances organiques) et les compare aux sédiments actuels des rivières suisses, du Léman et des barrages de Klingnau, Mühleberg et Wettingen. Les teneurs en métaux des sédiments déposés le long du cours du Rhône depuis la mise en eau du barrage sont plus élevées que les concentrations des sédiments de rivière actuelles. Elles sont à comparer avec celles mesurées dans les autres retenues suisses en aval de grands centres urbains. Les sites avec les plus fortes contaminations, aussi bien pour les métaux que pour les substances organiques (PCB, HAP), se trouvent dans les régions d'influence de sources locales, à savoir dans le Nant de Châtillon (influence de la décharge cantonale) et dans la baie de Peney (influence du Nant d'Avril). Ces zones peuvent être classées en tant que «sites contaminés» au sens de l'ordonnance fédérale correspondante.

**Mots clefs:** Sédiments de barrage, réservoir, contamination, Rhône, Verbois, Genève

<sup>1</sup> Institut F.A. Forel, 10 route de Suisse, CH-1290 Versoix – walter.wildi@terre.unige.ch

## Introduction

À la fin du 20<sup>e</sup> siècle, environ 45 000 grands barrages ont été construits à travers le monde (WCD 2000). Il s'agit de barrages dédiés à l'irrigation, à la mitigation des crues, à l'alimentation en eau potable et/ou à la production hydroélectrique. Selon les estimations, ces ouvrages retiendraient temporairement 46% des eaux qui s'écoulent par les 106 plus grandes rivières des continents aux océans (op. cit. p. 15) et arrêtent une proportion élevée de sédiments transportés par les rivières et fleuves avant qu'ils n'arrivent dans leur bassin sédimentaire naturel, les mers et les océans. Cette rétention de sédiments dans les réservoirs au sein des bassins versants modifie de façon significative un certain nombre de processus naturels, parmi lesquels on peut notamment mentionner les suivants:

- le régime des débits saisonniers, soit la fréquence, l'amplitude et la durée des crues en aval des barrages;
- l'apport de substances minérales et organiques, de nutriments et de polluants sur les terrains inondables en aval des barrages, en général par une diminution ou un arrêt de ces apports;
- la capacité d'érosion des cours d'eau en aval des barrages, en général par une augmentation de l'érosion du chenal fluvial (incision du lit mineur) et de ses bordures;
- la stabilité des côtes et des deltas marins et lacustres; en général en passant d'une situation de dépôt et de croissance à une situation d'érosion;
- le niveau des nappes phréatiques, avec une augmentation en amont immédiat des barrages et un abaissement en aval.

On estime qu'environ 1% de la capacité de stockage des réservoirs existants est perdue chaque année par la sédimentation (WCD 2000) et ne peut pas être compensée par des mesures techniques telles que des vidanges et des purges.

En Suisse, 208 barrages d'accumulation et barrages au fil de l'eau sont répertoriés sur le site [www.swissdams.ch](http://www.swissdams.ch), sans compter ceux situés le long du Rhin, entre le Lac de Constance et Bâle. Ces barrages et réservoirs sont surveillés systématiquement du point de vue de leur sécurité de construction et de leur comblement sédimentaire par rapport à la sécurité de crue. En revan-

che, la surveillance ne concerne pas les aspects de qualité des sédiments accumulés et de leur impact environnemental éventuel. Deux actions d'investigation de la qualité des sédiments et des matières en suspension des rivières suisses ont été initiées par l'Office fédéral de l'environnement au cours des vingt dernières années (OFEFP 1989 et 1995, Pardos et al. 2003). Dans ce cadre, Vernet et al. (1989) ont mis en évidence une contamination historique par des métaux lourds dans les sédiments du barrage de Klingnau, sur l'Aar près de sa confluence avec le Rhin, ainsi que dans le barrage de Mühleberg, à l'aval de Berne (Fig. 1; OFEFP 1995). Ces contaminations datent des années 1950 à 1970 environ et concernent essentiellement le mercure et le cadmium, mais également le zinc, le plomb, le cuivre et le chrome.

Un cas similaire, combinant des concentrations en métaux lourds plus élevées que dans les deux cas précédents avec des concentrations également très élevées en polychlorobiphényles (PCB) et en hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP), a été mis en évidence dans le cadre d'une étude d'impact sur l'environnement dans le lac de barrage de Wettingen, en aval de la ville de Zürich (Wildi et al. 2003). Une analyse des risques pour l'homme et l'environnement provenant de ce remplissage de sédiments contaminés a mis en avant les risques liés à une infiltration d'eau dans la nappe souterraine, le risque d'ingestion de contaminants par la faune (invertébrés, poissons) et le risque lié à une remobilisation de sédiments contaminés, notamment à l'occasion de crues ou autre événement.

Ces cas de contamination sédimentaire dans des réservoirs situés en aval de grands centres urbains ont été à l'origine de l'examen, dans le cadre de travaux de diplôme à l'Université de Genève, de la situation dans la retenue de Verbois, situé à l'aval de la

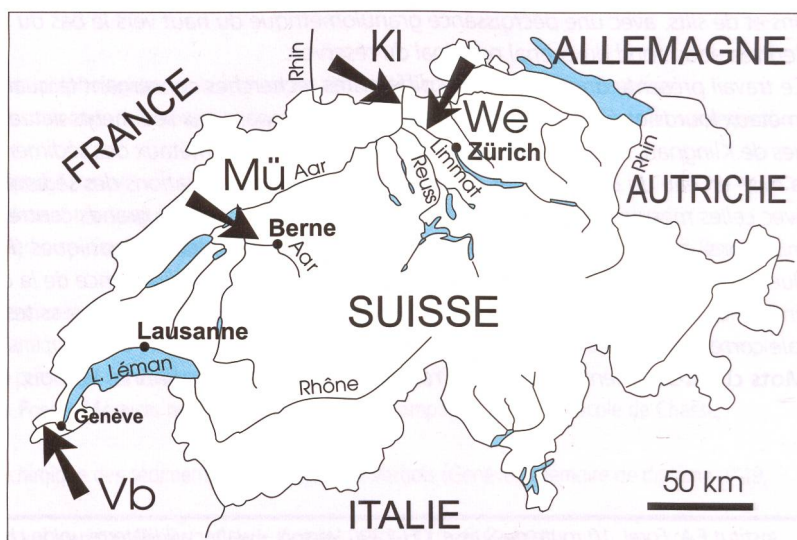


Fig. 1: Lacs de barrage suisses à forte contamination sédimentaire, localisés sur des rivières en aval de centres urbains (modifié d'après Wildi et al. 2004).

ville de Genève et de la vallée de l'Arve, connue pour son industrie métallurgique (Ischi 1998; Koukal 1999; Perroud 2000). Nous présentons ici une synthèse des résultats de ces recherches. L'étude compare ensuite les données avec la qualité des sédiments actuels des rivières suisses et du Léman et les sédiments des barrages mentionnés ci-dessus.

**Le cadre de la sédimentation du barrage de Verbois**

Le barrage hydroélectrique de Verbois, avec une longueur de couronnement de 340 m et un volume initial de 12 mio m<sup>3</sup>, a été mis en service en 1942 (www.swissdams.ch). Le réservoir reçoit les eaux du Rhône (débit moyen 252 m<sup>3</sup>/s) s'écoulant du Léman, ainsi que de l'Arve (débit moyen 80 m<sup>3</sup>/s) qui se jette dans le Rhône à 2 km en aval de l'exutoire du lac. L'influence de la retenue du barrage sur le Rhône s'étend sur un peu plus de 11 km en amont du barrage, soit jusqu'à la confluence avec l'Arve.

La retenue est installée dans la vallée fluviale du Rhône, localisée à la fois dans la terrasse fluviale datant de la fin du dernier âge glaciaire et dans le canyon du Rhône creusé à la fin du dernier âge glaciaire dans les dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires datant de cette même glaciation (Wildi 1998).

L'Arve est le principal pourvoyeur de sédiments provenant des massifs du Mont Blanc et des Aiguilles Rouges, des flyschs alpins et de la Molasse de part et d'autre de la vallée de l'Arve. Il s'agit essentiellement de matières en suspension avec une proportion importante de «lait glaciaire» produit par abrasion.

Pendant les événements de vent de Nord-Est («Bise»), les vagues remanient du sédiment lacustre dans la rade de Genève; cet apport représente la seule contribution réelle du lac à la sédimentation du réservoir de Verbois.

Le long de ses rives, la retenue de Verbois reçoit les eaux de 18 nants (ruisseaux locaux) répartis de façon équitable entre rive gauche et rive droite du Rhône. La vallée du Nant de Châtillon, sur la rive gauche, est partiellement comblée par la décharge cantonale de Genève (Fig. 2). Le Nant d'Avril, en rive droite, reçoit les eaux de refroidissement du «Centre européen de recherche nucléaire» (CERN) et des eaux de ruissellement de la «Zone industrielle Meyrin-Satigny» (ZIMEYSA). Deux stations d'épuration, celle d'Aire (370 000 éq.-habitants raccordés) et celle du Nant d'avril (22 000 éq.-habitants raccordés) rejettent leurs eaux dans la retenue. Cette dernière longe par ailleurs des zones industrielles ainsi que les installations de l'usine d'incinération des ordures ménagères des Cheneviers.

A sa confluence avec le Rhône, l'Arve charrie du gravier qui se dépose au centre du lit de la rivière à l'entrée du barrage. Ce matériel peut être transporté le long du chenal principal du réservoir à l'occasion des vidanges (chasse du barrage de Verbois effectuée tous les quatre ans). Le plus important volume de sédiments accumulés dans la retenue concerne la matière en suspension qui s'est déposée dans les méandres et autres zones de faible vitesse des courants. Comme l'illustrent les profils historiques à hauteur du point d'échantillonnage Vs 6 (Fig. 3), le gros de ces sédiments s'est déposé au début de l'exploitation du barrage; sédimentation et ré-érosion à l'occasion des

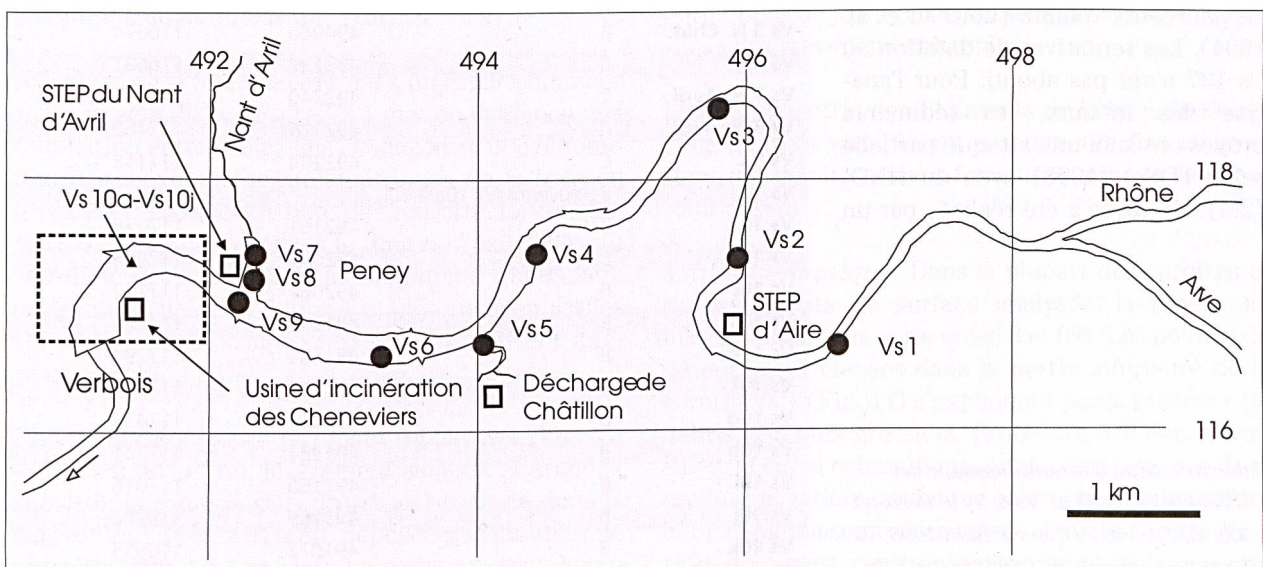


Fig. 2: Localisation des points d'échantillonnage de sédiments le long de la retenue de Verbois.

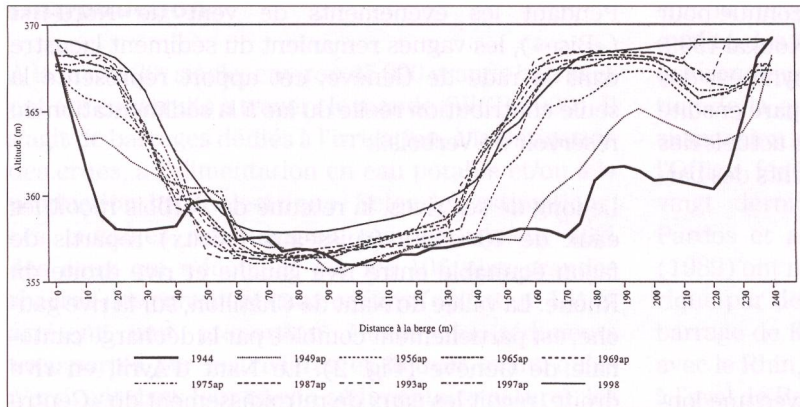


Fig. 3: Profils transversaux historiques de la retenue de Verbois à hauteur du point d'échantillonnage Vs 6 (voir fig. 2; communication Services Industriels de Genève); orientation rive gauche-rive droite selon figure.

vidanges tiennent à peu près la balance depuis une trentaine d'années. La faible épaisseur de la couche sédimentaire dans le chenal central du réservoir s'explique par les vitesses relativement élevées en cas de crue, et surtout par l'effet des vidanges.

### Prélèvements et analyses

Les sites d'échantillonnage de sédiments (localisation GPS) sont indiqués dans la figure 2 (coordonnées voir tab. 1). Les carottes ont été prélevées à l'aide de tubes en PVC, enfoncés dans le substrat du fond depuis un bateau. Les sédiments de surface ont été récoltés à l'aide d'une benne Shipek.

Après ouverture des carottes et description des sédiments, les échantillons pour analyse ont été prélevés sur la carotte à intervalle régulier. La teneur en matière organique a été déterminée par perte au feu à 500°C. La granulométrie de la fraction inférieure à un millimètre a été mesurée à l'aide d'un appareil Coulter LS 100, en pourcents volume (Loizeau et al. 1994). Les tentatives de datation au Cs 137 n'ont pas abouti. Pour l'analyse des métaux, les sédiments broyés ont subi une attaque partielle selon l'OSol (1998) avec du HNO<sub>3</sub> (2M). L'analyse a été réalisée par un

ICP-MS Hewlett-Packard 4500. L'analyse du mercure a été faite par absorption atomique par vapeur froide à l'aide d'un instrument MAS 50 de la firme Perkin. Les polychlorobiphényles (PCB) et les hydrocarbures polyaromatiques (HAP) ont été analysés par HPLC/GC au laboratoire d'écotoxicologie de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

### Caractérisation physico-chimique, teneurs en métaux et en substances organiques des sédiments du barrage de Verbois

Les analyses effectuées concernent des sédiments de surface et des échantillons prélevés sur des carottes (Tableau 1). Les graviers à l'entrée du réservoir et au fond du chenal n'ont pas été échantillonnés.

Echantillon N°	Type d'échantillon	Coordonnée X	Coordonnée Y
Vs 1	C	496363	116590
Vs 2	C	495787	117243
Vs 3	C	495787	118529
Vs 4	C	494441	117487
Vs 5 N. Chât.	B	494080	116674
Vs 6	C	493239	116687
Vs 7 N. Avril	C	492340	117515
Vs 8 N. Avril	C	492324	117460
Vs 9	C	492204	117148
Vs 10	B: moyenne Vs 10a à 10l		
Vs 10a	B	492161	117078
Vs 10b	B	492034	117076
Vs 10c	B	492061	117152
Vs 10d	B	491996	117229
Vs 10e	B	491685	117294
Vs 10f	B	491552	117304
Vs 10g	B	491567	117433
Vs 10h	B	491384	117261
Vs 10i	B	491150	117016
Vs 10j	B	491169	116926
Vs 10k	B	491072	116955
Vs 10l	B	491035	116891

Tableau 1: Sites d'échantillonnage des sédiments Vs 1 – Vs 4, Vs 6, Vs 9: Perroud 2000; Vs 7 Avril, Vs 8 Avril: Ischi 1998; Vs 5 Chât: Favarger et al. 1991, Vs 10a à Vs 1j: Koukal 1999.

Tableau 2: Concentration des sédiments en métaux. Verbois, Vs 1 – Vs 10: Sites selon fig. 2 et tab. 1; concentrations moyennes pour les carottes; échantillon de surface pour Vs 5. Léman: selon Arbouille et al. (1989, sédiments de surface). Rivières suisses et sédiments actuels du Rhône: selon Pardos et al. 2003. Barrage de Klingnau: moyenne de la carotte V (Vernet et al. 1989). Barrage de Mühleberg: Moyenne de la carotte W5 (OFEFP 1995). Barrage de Wettingen: moyenne de la Carotte 19 (Wildi et al. 2004). Valeur U de surveillance de la Directive sur l'excauation selon OFEFP (1999).

Site	Ag (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Hg (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Vs 1	1.5	3.1	15	56	0.6	54	51	180
Vs 2	0.6	0.6	22	60	0.7	86	56	247
Vs 3	1	0.8	31	97	0.9	123	78	276
Vs 4	0.9	0.9	15	45	0.4	52	45	120
Vs 5 N. Chât.	12.8	50		649	2	97	1287	2932
Vs 6	0.9	1.9	13	46	0.5	52	54	114
Vs 7 N. Avril		1.5	51	266	2	127	79	527
Vs 8 N. Avril		10.8	64	189	3.5	105	87	702
Vs 9	1	2	14	44	0.4	50	46	111
Vs 10		1.3	17	43		32	32	149
<b>Rivières suisses</b>		0.22	8.1	27.4	0.14	30.8	26.5	86.3
<b>Rhône actuel</b>								
(Chancy)		0.28	9.3	25	0.11	33.9	24	83.6
<b>Léman</b>	0.5	0.8	9	52.2	0.47	58.6	27.1	148.2
<b>Réservoirs:</b>								
Klingnau		0.9	11	52	0.4	41	46	239
Mühleberg		1.1	21.9	42.3	0.4	43.3	61.7	270
Wettingen		2.6	9.1	81.9	1.6	52.6	138.8	344.1
<b>Directive excavation</b>								
Valeurs U		1		40	0.5	50	50	150
Valeurs T		5		250	1	250	250	500

*Granulométrie:* La figure 4 a, b, d et e donne un aperçu de l'évolution granulométrique dans la partie supérieure de la retenue, proche de l'entrée du Rhône (carotte Vs 1), ainsi que dans le bassin en amont immédiat du barrage (carotte Vs 9).

A l'entrée de la retenue (Fig. 4 d), un échantillonnage serré au sein de la carotte Vs 1 met en évidence une fluctuation entre sables fins et silts, avec une diminution des moyennes granulométriques de la fraction grossière du bas vers le haut de la carotte. La concentration des granulométries le long de l'axe sable-silt se reflète également dans le diagramme triangulaire sable/silt/argile de la figure 4 e. La teneur en argiles (haut du triangle coupé) reste le plus souvent inférieure à 15%.

Dans le dernier bassin en amont du barrage (Fig. 4 a et b) seul du silt fin, légèrement sableux et argileux subsiste; la fraction plus grossière observée dans la carotte Vs 1 (Fig. 4 e) a été déposée dans la retenue entre les sites Vs 1 et Vs 9. La variation granulométrique de la figure 4 a indique, comme dans la carotte

Vs 1 (Fig. 4 d) une certaine cyclicité en fonction des débits du Rhône, respectivement de l'Arve en tant que pourvoyeur de sédiments. Toutefois, la faible densité de l'échantillonnage au sein de la carotte ne permet pas de juger de l'épaisseur des couches déposées par un événement simple.

La granulométrie des sédiments de la baie de Peney (Fig. 2), très variable entre sédiments fins et grossiers, est manifestement fortement influencée par le Nant d'Avril.

*Matière organique:* Dans la plupart des carottes et des sédiments de surface analysés, la teneur en matière organique varie entre 3 et 6%. Les pointes de teneurs plus élevées dans la partie inférieure de la carotte Vs 1 (Fig. 4 f) s'expliquent par la présence de débris végétaux grossiers, provenant des berges voisines du site d'échantillonnage. La décroissance de la teneur en matière organique en fonction de la profondeur d'enfouissement observée dans la carotte Vs 9 (Fig. 4 c) n'est confirmée par aucune autre carotte sédimentaire.

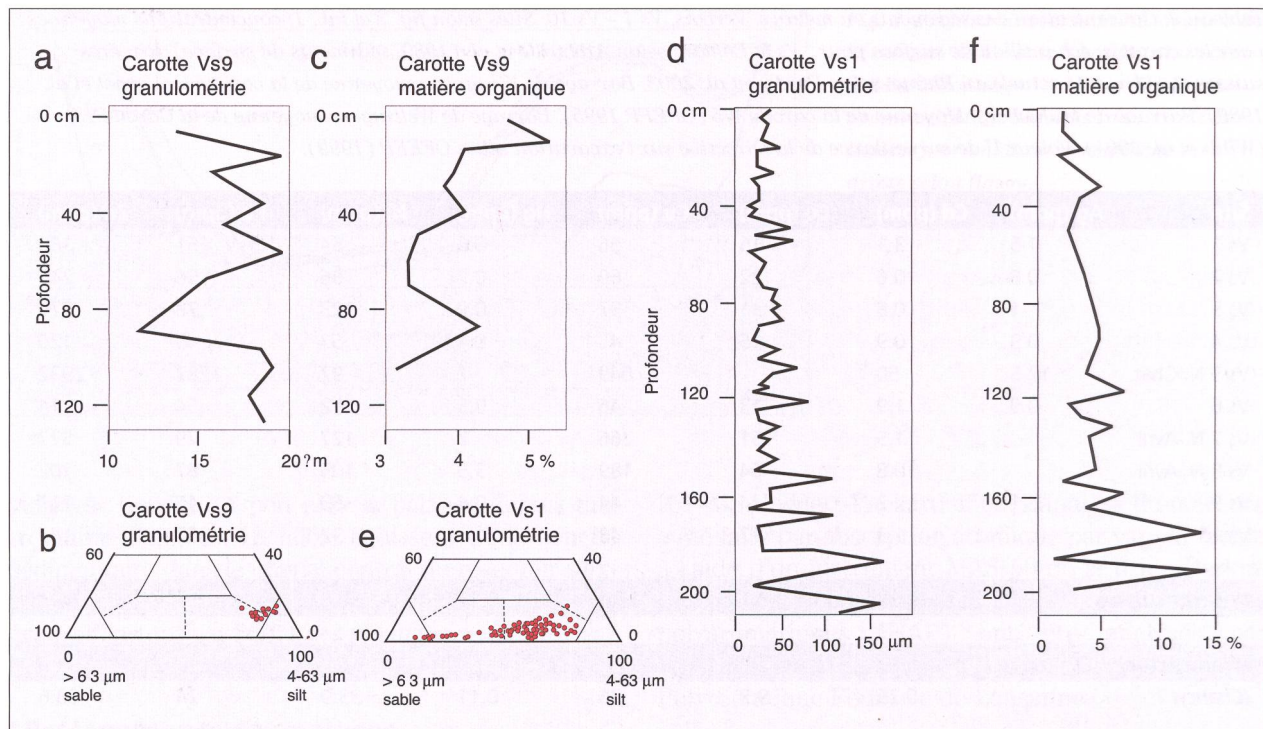


Fig. 4: Evolution de la granulométrie et de la matière organique en fonction de la profondeur dans une carotte sédimentaire à l'entrée du lac de barrage (carotte Vs 1) ainsi qu'à sa sortie (carotte Vs 9, localisation voir Fig. 2).

**Porosité:** La porosité des sédiments, déterminée à partir de leur teneur en eau, mais non documentée ici, se situe autour de 50 à 60%.

**Teneur en métaux:** Les teneurs en métaux varient du bas vers le haut au sein des carottes (Fig. 5), avec, le plus souvent, une tendance à l'augmentation dans la partie inférieure des carottes, puis une nouvelle diminution vers le haut. Etant donnée l'absence de datation, la présentation suivante est cependant essentiellement basée sur les teneurs moyennes calculées sur l'ensemble des carottes.

Dans les figures 6 a, 6 b et le tableau 2, on représente les concentrations liées à l'apport par l'Arve et, dans une mesure moindre, par le Rhône depuis les sédiments remaniés dans la Rade de Genève par temps de bise. Les variations de concentrations observées le long du réservoir, de Vs 1 à Vs 10, peuvent être expliquées par les faits suivants:

- les sédiments à granulométrie fine peuvent fixer davantage de métaux que les sédiments grossiers. En partant d'une concentration donnée en Vs 1, on devrait en conséquence observer une certaine augmentation des concentrations de métaux dans l'ordre suivant: Vs 2, Vs 3, Vs 4, Vs 6, Vs 9, Vs 10;
- des augmentations de concentrations dans ces sites peuvent être liées à des sources locales, telles que les stations d'épuration, les décharges ou les industries;
- Vs 5 représente l'apport local depuis la décharge du Nant de Châtillon;

- Vs 7 et Vs 8 correspondent essentiellement aux sédiments apportés par le Nant d'Avril, mais influencés par le Rhône.

Les valeurs présentées dans la figure 6 et tableau 2 appellent les commentaires suivants:

- les sites Vs 4, Vs 6, Vs 9, Vs 10, localisés le long du cours principal du Rhône, présentent souvent des valeurs de concentration similaires ou inférieures à celles du point Vs 1. L'influence des sources de contamination locales y est donc minime;
- Vs 2 et Vs 3 montrent des augmentations pour la plupart des métaux; une influence locale, non encore éliminée par dilution au moment du dépôt, est soupçonnée;
- Vs 5 est fortement contaminée, certainement par les eaux de lixiviation de la décharge cantonale du Nant de Châtillon. Toutefois, cette analyse date de 1988 et ne reflète pas forcément la situation actuelle pour les sédiments de surface. En comparaison avec les autres sites, Vs 5 vient en tête du palmarès des concentrations de façon impressionnante pour tous les métaux, à l'exception du Nickel et du Mercure (Fig. 6);
- les concentrations en Vs 7 et Vs 8 démontrent un apport permanent en métaux par le Nant d'Avril. Parmi les métaux de forte toxicité mesurés, on mentionnera notamment le cadmium, le mercure, le cuivre et le zinc.

**Polychlorobiphényles (PCB) et hydrocarbures polyaromatiques (HAP).** Dans le bassin immédiatement en amont du barrage, 11 échantillons montrent des concentrations en PCB inférieures à 0.025 ppm,

et des concentrations en HAP inférieures à 0.5 ppm (tab. 3). Seul le site V 1 f, localisé au large de l'usine d'incinération fait exception, avec 0.199 ppm de PCB et 1.75 ppm de HAP.

**Contamination des sédiments du barrage de Verbois: comparaison avec les sédiments des rivières suisses et du Léman, évaluation environnementale**

Dans la baie de Peney, seule la carotte Vs 8 a fait l'objet d'analyses des PCB. Sur 7 mesures, la teneur maximum mesurée est de 6.37 ppm et la moyenne de 2.7 ppm, avec une nette tendance à l'augmentation du bas vers le haut de la carotte. La provenance de ces PCB depuis le Nant d'Avril a été démontrée par Ischi (1998).

Les concentrations moyennes en métaux mesurées sur les différents sites de la retenue de Verbois sont supérieures à celles mesurées sur les sédiments actuels des principales rivières suisses et du Rhône à Chancy (Pardos et al. 2003), de même que celles de la moyenne des sédiments du Léman mesurées par Arbouille et al. (1990). Dans cette comparaison, la

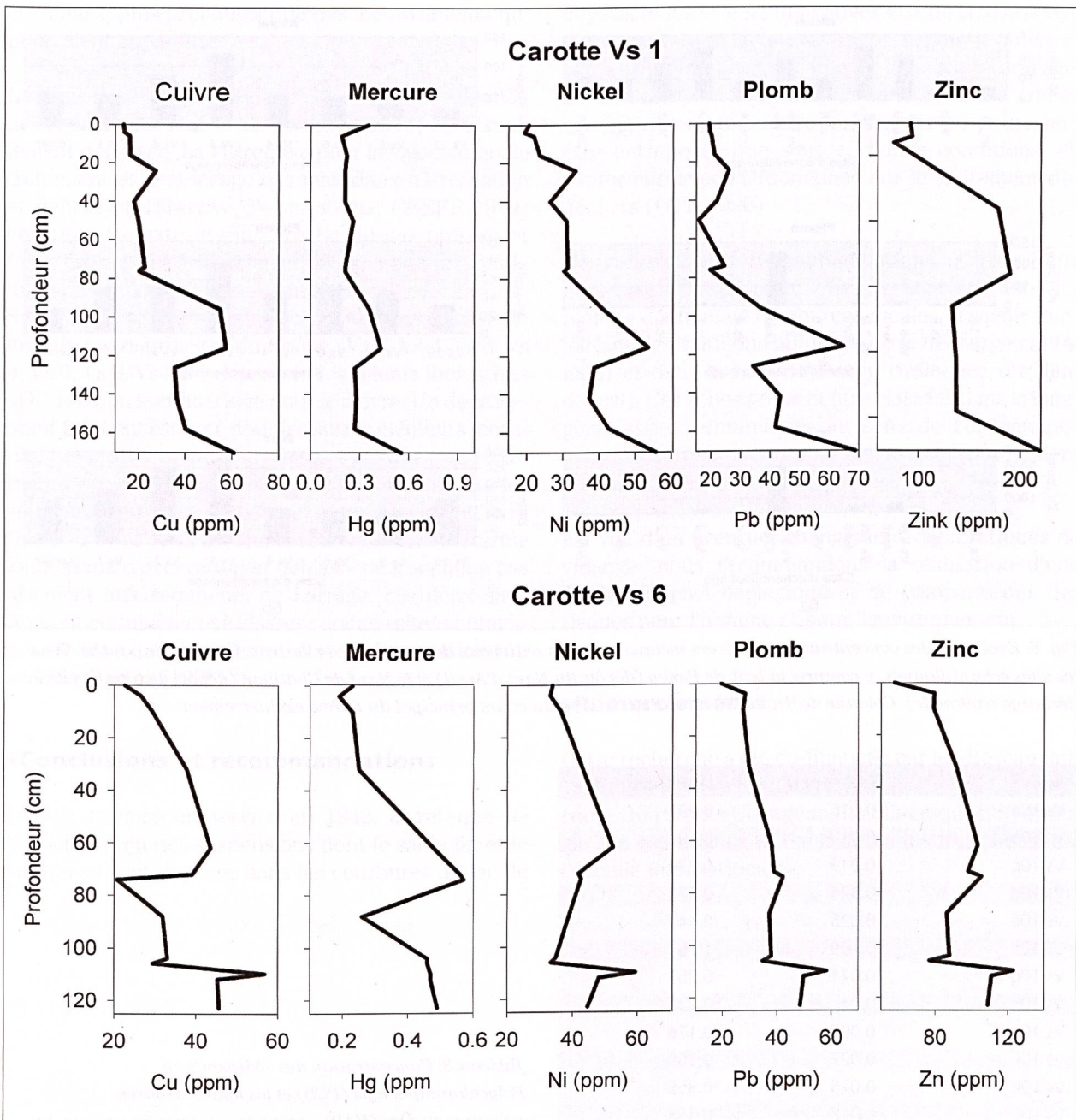


Fig. 5: Evolution des teneurs en métaux sélectionnés pour la carotte Vs 1, prélevée au début du barrage, et la carotte Vs 6, localisée en aval (localisation voir Fig. 2).



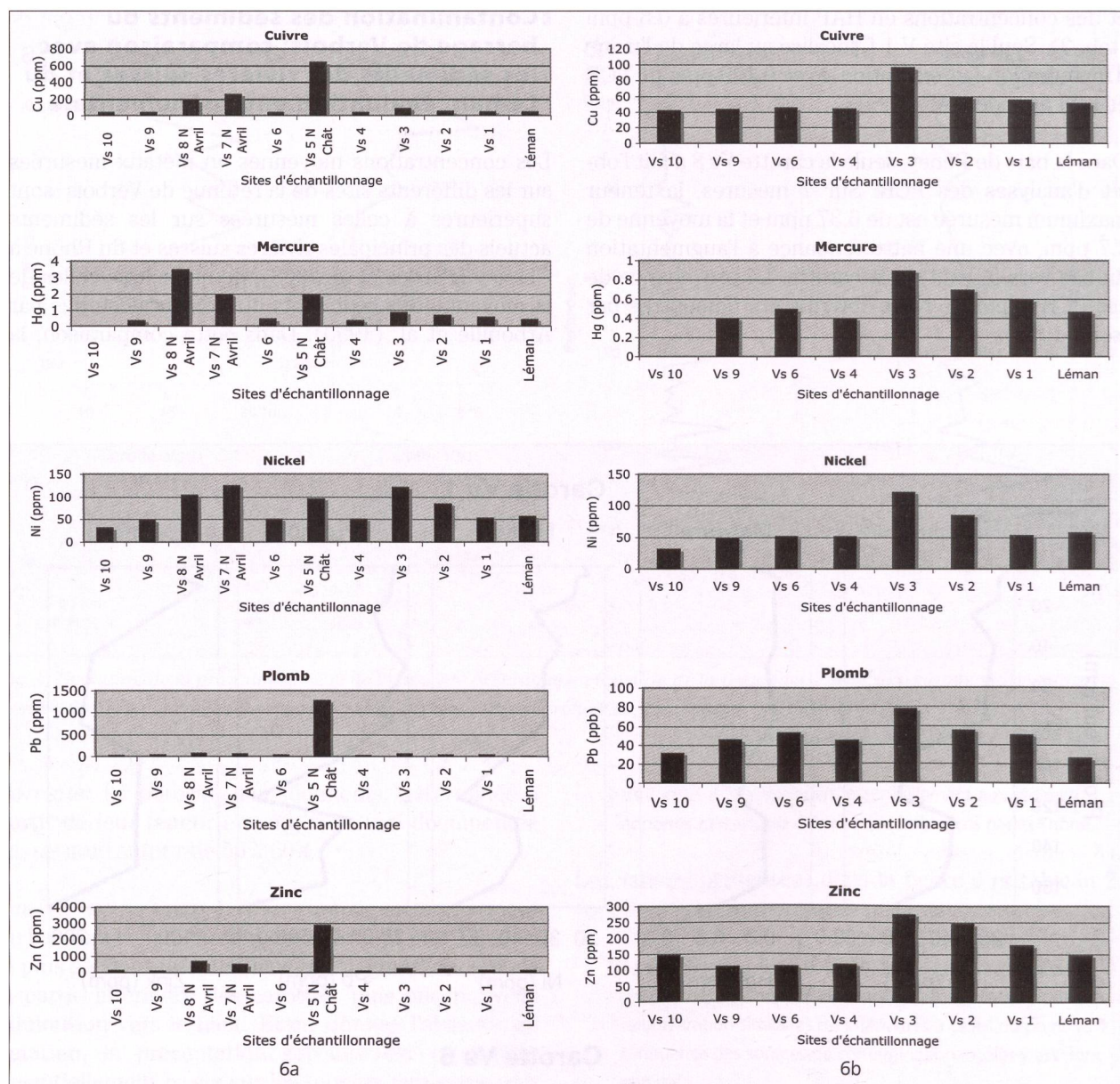


Fig. 6: Evolution des concentrations de divers métaux dans les sédiments de la retenue de Verbois. Colonne de gauche: Tous les sites échantillonnés, y compris la baie de Peney (dépôts du Nant d'Avril) et le Nant de Châtillon (dépôts de lixiviate de la décharge cantonale). Colonne de droite: Sites localisés le long du cours principal du Rhône exclusivement.

Site	PCB (ppm)	HAP (ppm)
Vs 10a	0.016	0.291
Vs 10b	0.019	0.192
Vs 10c	0.019	0.239
Vs 10d	0.024	0.178
Vs 10e	0.025	0.44
Vs 10f	0.199	1.75
Vs 10g	0.021	0.353
Vs 10h	0.04	0.232
Vs 10i	0.009	0.176
Vs 10j	0.027	0.209
Vs 10k	0.025	0.355
Vs 10l	0.018	0.358
Vs 8	2.7	
Rivière suisses	0.006	0.043

Tableau 3: Concentration des sédiments en Polychlorobiphényles (PCB) et les hydrocarbures polyaromatiques (HAP); comparaison avec les teneurs des sédiments actuels des rivières suisses d'après Pardos et al. (2003).

retenue de Verbois se trouve en revanche en bonne compagnie avec les barrages de Klingnau, Mühleberg et Wettingen. Ce constat s'explique en grande partie par le fait que d'anciens sédiments, datant des années antérieures à la mise en fonction des stations d'épuration et/ou à l'introduction du déphosphatage forment souvent le gros des volumes sédimentaires déposés.

A ce jour, aucune étude ciblée n'a été menée concernant l'impact écologique et les risques environnementaux éventuels liés à la présence de sédiments contaminés dans le barrage de Verbois. Or, une telle étude pourrait se révéler utile, notamment en vue d'un changement des pratiques de vidange et des avantages, plus probables que des inconvénients qui pourraient apparaître.

La seule base légale en Suisse concernant l'évaluation de la qualité des sédiments (OFEFP 1995b) est actuellement dépassée. La «Directive pour la valorisation, le traitement et le stockage des matériaux d'excavation et déblais» («Directive d'excavation», OFEFP 1999) constitue le texte le plus proche du cas présent et ferait foi en cas d'évaluation environnementale pour le dragage et l'entreposage des sédiments de Verbois. Selon l'annexe 1 de cette directive, les sites localisés le long du cours principal du Rhône (Vs 1, Vs 2, Vs 3, Vs 4, Vs 6, Vs 9, Vs 10) dépassent les valeurs indicatives «U» de façon systématique pour le cuivre. Un dépassement fréquent est noté pour les autres éléments mesurés. Le dépassement des valeurs «T», dites de «tolérance» est systématique et souvent prononcé pour les sédiments du Nant de Châtillon et du Nant d'Avril (sites Vs 5, Vs 7, Vs 8). Même si la définition du terme «matériaux d'excavation et déblais» ne s'applique pas aisément aux sédiments de barrage, ces deux sites seraient certainement à classer comme «sites contaminés» (c'est à dire des sites qui doivent être assainis) au sens de l'Osites (1998).

## ■ Conclusions et recommandations

Depuis sa mise en service en 1942, la retenue de Verbois a reçu des suspensions dont le sable fin et le silt qui se sont déposés dans les courbures du lac de

barrage et dans d'autres zones de faible vitesse de courant, avec une décroissance granulométrique du haut vers le bas du réservoir. Le gros de ces sédiments s'est déposé au début de l'exploitation du barrage; sédimentation et ré-érosion à l'occasion des vidanges tiennent à peu près la balance depuis une trentaine d'années.

La teneur en matière organique varie entre 3 et 6%. Les teneurs en métaux des sédiments fins sont à la fois plus élevées que celles de la moyenne des sédiments actuels des rivières suisses et celles des sédiments du Léman.

Les sites localisés le long du cours principal du Rhône dépassent les valeurs indicatives «U» de la «Directive d'excavation» de façon systématique pour le cuivre et souvent pour d'autres éléments. En cas de dragage, les sédiments ne pourraient donc pas être traités comme des matériaux propres, mais ne pourraient être entreposés que sous certaines conditions, en conformité avec l'Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD 1990).

Des zones à plus forte contamination par des métaux et des substances organiques se trouvent dans les régions d'influence de sources locales, à savoir dans le Nant de Châtillon (influence de la décharge cantonale) et dans la baie de Peney (influence du Nant d'Avril). Ces zones peuvent être classées dans la catégorie «sites contaminés» au sens de l'ordonnance fédérale correspondante. A ce titre, elles devraient être assainies.

En vue d'un éventuel changement des pratiques de vidange, nous recommandons la réalisation d'une étude d'impact écologique et de comparaisons des risques pour l'homme et pour l'environnement.

## ■ Remerciements

Cette recherche a été co-financée par le «Réseau universitaire international de Genève» (RUIG), dans le cadre du projet «Changements climatiques, hydrologie des montagnes et contraintes institutionnelles à l'échelle internationale».

## Références

- **ARBOUILLE D, HOWA H, SPAN D, VERNET JP.** 1990. Etude générale de la pollution par les métaux et répartition des nutriments dans les sédiments du Léman. Commission internationale pour la protection des eaux du Léman, rapport campagne 1988, pp 139-172.
- **CIPEL** 1984. Le Léman, synthèse 1957-1982. Commission internationale pour la protection des eaux du Léman, Lausanne.
- **FAVARGER PY, SPAN D, VERNET JP.** 1991. Métaux lourds dans les sédiments des rivières du bassin lémanique suisse. Commission internationale pour la protection des eaux du Léman, rapport campagne 1990, pp 149-166.
- **ISCHI V.** 1998. Etude géochimique du Nant d'Avril et de la Baie de Peney (Genève). Dipl. études sup. sc. nat. env. Univ. Genève, inédit, 100 p.
- **KOUKAL B.** 1999. Caractérisation des sédiments de la retenue du Rhône à Verbois. Postgrade en sciences de l'environnement, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, inédit, 83 p.
- **OFEFP** 1989. Métaux lourds dans les sédiments des cours d'eau suisses. Protection de l'environnement en Suisse, Bulletin de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, Suisse.
- **OFEFP** 1995 a. Métaux dans les sédiments. Cahiers de l'environnement n° 240. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne.
- **OFEFP** 1995 b. Le dragage de sédiments lacustres dans les ports et voies navigables. Informations concernant la protection des eaux. L'environnement pratique. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne.
- **OFEFP** 1999. Directive pour la valorisation, le traitement et le stockage des matériaux d'excavation et déblais. L'environnement pratique. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne.
- **OSITES** 1998. Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués. 814.680.
- **OTD** 1990. Ordonnance sur le traitement des déchets. 814.600.
- **PARDOS M, DOMINIK J, HOURIET JP.** 2003. Micropolluants dans les sédiments. Métaux et micropolluants organiques dans les matières en suspension et sédiments superficiels des grands cours d'eau suisses. Cahiers de l'environnement n° 353. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 58p.
- **PERROUD A.** 2000. Etude sédimentologique et géochimique des sédiments de la retenue de Verbois (Genève). Dipl. études sup. sc. nat. env. Univ. Genève, inédit, 101 p.
- **WCD, WORLD COMMISSION ON DAMS** 2000. Dams and development. Report. Earthscan, London, 404 p.
- **VERNET JP, FAVARGER PY, DOMINIK J.** 1989. Chronological evolution of heavy metal contamination of Klingnau basin sediments (Aar watershed, Switzerland). In: J.P. Vernet (ed.): Heavy metals in the environment. CEP Consultants, Edinburgh, pp 234-238.
- **WILDI W.** 1997. Le site naturel de Genève. Ph. Broillet, ed.: Les monuments d'art et d'histoire du Canton de Genève. Tome 1: La Genève sur l'eau, p. 3 - 13. Soc. de l'Art en Suisse, Ed. Wiese, Bâle, pp 3-13.
- **WILDI W, HOFMANN A, MONNERAT M, PERROUD A.** 2003. Sediment contamination in a river reservoir (Wettingen Reservoir, Switzerland): Present situation and history. *Eclogae geol. Helv.* 96, 51, pp 127-133.
- **WILDI W, DOMINIK J, LOIZEAU JL ET AL.** 2004. River reservoir contamination by heavy metals downstream from urban areas of Switzerland. *Lakes and reservoirs: Research and management* 9, pp 75-87.
- **WITMER F.** 2005. Simulating future global deforestation using geographically explicit models. International Institute for applied Systems analysis, Laxenburg. Interim report IR-05-10, 26 p.