

ETUDE DES SOURCES

DE POLLUTION METALLIQUE

SUR LE COURS

DE L'ANDLAU

Rapport final

CENTRE D'ANALYSES ET DE RECHERCHES

Département Hydrologie et Environnement

76, route du Rhin, 67400 Illkirch

S O M M A I R E

page:

PROBLEMATIQUE	5
OBJECTIFS DE L'ETUDE	6
LES GRANDES LIGNES DE LA DEMARCHE ADOPTEE	6
I. PREMIERE PARTIE	8
1. LE DEGRE DE CONTAMINATION METALLIQUE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE L'ANDLAU	9
1.1. INFORMATIONS RECUEILLIES AUPRES DE LA DRIRE ET DE LA DIREN CONCERNANT LES SOURCES DE POLLUTION METALLIQUE CONNUES	9
1.1.1. Au niveau de l'Andlau	9
1.1.2. Au niveau des affluents de l'Andlau	12
1.1.2.a. La Kirneck	12
1.1.2.b. Le Dachsbach	13
1.1.2.c. La Scheer et la Scheer Neuve	13
1.2. RESULTATS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT DE SEDIMENTS ET DE BRYOPHYTES AQUATIQUES REALISEES PAR L'AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE (1989-1993)	13
2. LA ZONE D'ETUDE	17
2.1. CONTEXTE LITHOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	17

3. METHODES D'INTERPRETATION DES RESULTATS	20
3.1. DEFINITION DE LA NOTION DE FACTEUR DE POLLUTION	20
3.2. DEFINITION DE LA NOTION DE FACTEUR DE CONTAMINATION	22
3.3. DEFINITION DE LA NOTION DE FACTEUR DE CONTAMI- NATION PAR SECTEUR GEOCHIMIQUE	23
3.4. IMPACT DES METAUX LOURDS SUR DES SYSTEMES AQUATIQUES	24
II. DEUXIEME PARTIE	25
4. LE DEGRE DE POLLUTION PAR LES METAUX LOURDS REVELE A L'AIDE DES SEDIMENTS	26
4.1. METAUX LOURDS ET SEDIMENTS	26
4.2. LOCALISATION DES POINTS DE PRELEVEMENT DES SEDIMENTS	26
5. RESULTATS ET DISCUSSION	36
5.1. LE DEGRE DE POLLUTION ACTUEL DE L'ANDLAU	37
5.1.1. La pollution par le cuivre et par le nickel	37
5.1.2. La pollution par le chrome	39
5.1.3. La pollution par le mercure	41
5.2. LE DEGRE DE POLLUTION ACTUELLE DE LA KIRNECK	42
5.2.1. La pollution par le chrome	42
5.2.2. La pollution par le mercure	42
CONCLUSION	44

III. TROISIEME PARTIE	45
6. LE DEGRE DE POLLUTION PAR LES METAUX LOURDS REVELE PAR LES BRYOPHYTES	46
6.1. LA METHODE DES MOUSSES AQUATIQUES	47
7. RESULTATS ET DISCUSSION	48
7.1. LE DEGRE DE POLLUTION ACTUEL DE L'ANDLAU	55
7.1.1. La pollution par le cuivre et par le nickel	55
7.1.2. La pollution par le chrome	57
7.1.3. La pollution par le mercure	59
7.2. LE DEGRE DE POLLUTION ACTUELLE DE LA KIRNECK	59
7.2.1. La pollution par le chrome	59
7.2.2. La pollution par le mercure, le plomb et le zinc	61
CONCLUSION GENERALE	63
BIBLIOGRAPHIE	70
ANNEXES	73

PROBLEMATIQUE

L'ANDLAU est une rivière qui a subi d'importantes pollutions par des éléments métalliques en recevant les rejets de tanneries et d'ateliers de traitement de surface ainsi que des apports par son affluent, la KIRNECK présentant le même type de contamination.

Les sources de pollution du bassin de l'ANDLAU sont regroupées pour l'essentiel au niveau des agglomérations d'ANDLAU-EICHHOFFEN et de BARR ainsi qu'au niveau de FEGERSHEIM. Malgré le raccordement des installations classées à la station d'épuration du SIVOM du coin de BARR ou à la station d'épuration de FEGERSHEIM, les pollutions "historiques" par des métaux lourds (surtout Cr, Cu, Ni) persistent dans les rivières. Fixés en grande partie au niveau des sédiments. Ces éléments représentent toujours un risque de contamination pour l'eau et pour les organismes vivants de la rivière.

Dans une rivière, l'évolution spatio-temporelle d'une contamination par des métaux lourds est influencée par différents facteurs:

- leur fixation au niveau des sédiments
- leur persistance dans les cycles bio-géo-chimiques du milieu naturel (intégration des métaux lourds dans des cycles),
- les processus d'adsorption (fixation)/ désorption (relargage) à l'interface sédiment - eau,
- le déplacement amont - aval des sédiments contaminés, lors des crues (remise en suspension en amont, dépôt dans des secteurs situés à l'aval), impliquant le déplacement d'un (ou des) pic(s) de pollution.

OBJECTIFS DE L'ETUDE

Ce travail visait à:

* collecter auprès des administrations compétentes (DRIRE, DIREN, Agence de l'eau Rhin-Meuse) et regrouper des données existantes sur les sources de pollution connues, les installations classées du bassin de l'ANDLAU.

** dégager une vue d'ensemble du degré de contamination des rivières par les métaux lourds à l'échelle du bassin versant.

*** vérifier ou infirmer l'existence de pollutions chroniques et/ou ponctuelles des cours d'eau du bassin de l'ANDLAU.

LES GRANDES LIGNES DE LA DEMARCHE ADOPTEE

Il s'agissait tout d'abord de recueillir des informations sur les sources de pollution par des métaux lourds connues auprès de l'administration (DRIRE, DIREN, Agence de l'eau Rhin-Meuse). Ces données devaient permettre de définir l'emplacement des points de prélèvement, dans un premier temps pour des sédiments et, dans un deuxième temps pour les bryophytes aquatiques, en fonction des sources de pollutions recensées.

Afin de disposer d'une vue d'ensemble des pollutions historiques et/ ou récentes du bassin de l'ANDLAU, des prélèvements de sédiments ont été effectués en fonction des critères suivants:

- l'utilisation de stations de référence reflétant le bruit de fond naturel pour les secteurs géochimiques du bassin.

- la localisation des points de prélèvement en fonction des sources de pollution connues (tronçon de rivière amont et tronçon aval de la source de pollution).

- le degré de la pollution globale des cours d'eau du bassin de l'ANDLAU révélé par les teneurs en métaux lourds des échantillons de sédiments prélevés au niveau du cours aval de chaque rivière.

Sur la base des résultats obtenus à l'aide des sédiments, des points de prélèvements des bryophytes aquatiques ont été sélectionnés. Des dosages de métaux lourds sur des mousses aquatiques permettant ensuite d'apprécier la proportion biodisponible des éléments recherchés, ainsi que le passage éventuel de pics de pollution récents.

Première partie:

***ETAT DES CONNAISSANCES SUR
LA CONTAMINATION METALLIQUE
DE L'ANDLAU ET DE LA KIRNECK***

*INFORMATIONS RECUEILLIES AUPRES DE LA
DRIRE ET DE LA DIREN*

1. LE DEGRE DE CONTAMINATION METALLIQUE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE L'ANDLAU

1.1. INFORMATIONS RECUEILLIES AUPRES DE LA DRIRE ET DE LA DIREN CONCERNANT LES SOURCES DE POLLUTION METALLIQUE CONNUES

Selon la législation actuellement en vigueur (loi du 19 décembre 1917 modifiée par la loi du 19 juillet 1976) relative aux "établissements dangereux, insalubres ou incommodes", nous disposons des informations suivantes sur les sources de pollution du bassin de l'ANDLAU obtenues auprès de l'administration (DRIRE, Direction Regionale pour l'Industrie et la REcherche d'Alsace; DIREN, Direction Régionale pour l'ENvironnement).

Les entreprises concernées par cette législation comprennent des tanneries, des usines de traitement de surface, d'émaillerie et des ateliers de peinture utilisant des procédés de décapage acide de cuves en aluminium avant la peinture.

Pour l'ANDLAU et ses affluents, ces types d'entreprises peuvent représenter des sources de contaminations avec les éléments métalliques suivants: Cr, Cu, Ni, Cd, Zn, Sn et Al.

1.1.1. AU NIVEAU DE L'ANDLAU

*** STOKO FRANCE à ANDLAU - EICHHOFFEN**

Cette entreprise de traitements de surface, installée depuis le début des années soixante-dix à ANDLAU (auparavant, elle était installée à BARR), produit des eaux résiduaires contenant du Cu, du Ni, du Zn et du Sn.

En 1972, l'entreprise avait obtenu l'autorisation de déposer des boues de sa station d'épuration à la décharge publique d'ANDLAU. Selon une étude (IRH), ces dépôts ne présenteraient pas de risque de contamination à condition que le pH des pluies ne soit pas inférieur à pH 4. A l'heure actuelle, les boues de cette station d'épuration vont en décharge de classe 1 (JEANLAINCOURT).

Il faut rappeler ici que des dépôts de boues contaminées représentent dans tous les cas un risque de contamination des eaux de surface et/ou souterraines, au moins à long termes. Le risque est dû au lessivage et/ou à l'érosion menant à la dispersion des éléments toxiques dans le milieu naturel.

L'évolution des teneurs métalliques des eaux usées de STOCKO FRANCE au cours de ces années, au niveau du décanteur, est illustrée par le tableau 1. Les eaux résiduaires au niveau du décanteur de la station d'épuration de l'entreprise, malgré leur dilution préalable, contenaient souvent des **concentrations en métaux totaux supérieures à 15 mg/l**, valeur limite fixée par la loi du 19 juillet 1976.

TABLEAU 1:

*** NOUVELLES TANNERIES HAAS à ANDLAU - EICHHOFFEN**

Installées depuis 1974 à ANDLAU - EICHHOFFEN, les rejets de ces tanneries contenaient surtout du Cr et ont provoqué des pollutions importantes chronique et ponctuelle (par exemple dans les années cinquante) de l'ANDLAU.

Depuis le début des années quatre-vingt, cette tannerie est raccordée à la station d'épuration du SIVOM. De plus, un nouveau procédé de tannage et de retannage a été adopté par l'entreprise. En 1982, les concentrations des rejets en Cr avaient diminué de plus de 95 % par rapport aux concentrations rencontrées dans les années soixante-dix.

Le flux moyen de la pollution produite par l'entreprise est, selon les résultats de 3 bilans établis par l'IRH (Rapport 1988), de 3,3 kg Cr/j et dépasse les charges limites autorisées fixées à 3,0 kg Cr/j.

*** PAIN à LIPSHEIM**

Cette entreprise d'émaillerie de fourneaux est raccordée à la station d'épuration de FEGERSEIM et peut constituer une source de rejets métalliques.

TABLEAU 2:

*** SPITZER EUROVRAC à FEGERSEIM**

Il s'agit d'une entreprise de peinture procédant à un décapage acide préalable de cuves en Al avant peinture. Les eaux de rinçage peuvent de ce fait contenir de l'Al.

* **TERRAIN A LIPSHEIM AYANT RECU DES DEPOTS** peut représenter une éventuelle source diffuse de pollution; des résidus boueux ont été déposés sur ce terrain privé clôturé (section N° 223).

1.1.2. AU NIVEAU DES AFFLUENTS DE L'ANDLAU

1.1.2.a. La KIRNECK

*** STOCKO FRANCE**

Avant son installation à ANDLAU en 1971, cette entreprise de traitement de surface a été installée à BARR (depuis 1959/1960), 2, rue de l'Ile, dans les bâtiments de l'ancienne tannerie Diehl. Les eaux résiduaires ont été rejetées dans la KIRNECK produisant une "pollution historique" qui risque d'influer encore sur le degré de contamination de cette rivière.

*** MANUFACTURE DU CUIR, DEGERMANN S.A.**

Les tanneries sont installées à BARR depuis 1907, 15, rue du Collège et ont provoqué une pollution importante par du Cr jusqu'à la fin des années 70 (Tableau 3), avant leur raccordement à la station d'épuration du SIVOM.

Le flux de pollution dépassent souvent les 3 kg Cr/j fixés comme taux maximal pour les eaux résiduaires traitées par le SIVOM.

TABLEAU 3 :

*** LES TANNERIES EMILE HAAS**

Ces tanneries existaient depuis 1891 à BARR et ont contribué à la contamination de la KIRNECK avec du Cr jusque dans les années soixante-dix.

1.1.2.b. Le DACHSBACH

Un affluent du DACHSBACH peut éventuellement recevoir des apports de Cr par les établissements ZIMMER, "Technicien du cuir", installé à GOXWILLER. Selon le dossier à la DRIRE, une pollution n'a pas pu être constatée jusqu'alors.

1.1.2.c. La SCHEER et la SCHEER NEUVE

En ce qui concerne ces rivières, nous ne disposons d'aucune indication sur des sources de contamination métallique.

1.2. RESULTATS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENTS DE SEDIMENTS ET DE BRYOPHYTES AQUATIQUES REALISEES PAR L'AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE (1989-1993)

Ce suivi réalisé par l'Agence de l'Eau Rhin - Meuse comprend deux points de prélèvements dans l'ANDLAU dont l'un à SAINT PIERRE et l'autre à FEGERSHEIM.

Ces points montrent des teneurs élevées et fluctuantes en Cr, Cu, Ni et Zn dans la fraction fine des sédiments (Tableaux 4, 5). Cela révèle que le niveau de contamination varie d'une année à l'autre et que le point aval peut montrer une contamination importante en un métal tandis qu'on peut observer une diminution de la contamination du sédiment au niveau du point amont, pour rencontrer une situation inversée l'année suivante. On peut observer cette situation pour les teneurs en Cr des sédiments provenant de SAINT PIERRE et de FEGERSHEIM pour les années 1989 et 1990 (ROECK et al. 1990, AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE 1991, 1992, 1993, 1994) de même que pour le Cu et pour le Ni (1989 et 1991, Tableau 4).

L'évolution des teneurs métalliques des sédiments (fraction fine < 20 µm), et celle de l'eau suivi à l'aide des bioindicateurs bryophytes, est reflétée par les teneurs consignées dans les Tableau 4 et 6. Les valeurs de référence standard (teneur rencontrée dans une rivière non polluée) pour chaque élément et pour chaque support analytique permettent d'évaluer le degré de contamination de l'ANDLAU au niveau de ces deux points de prélèvement.

Le Tableau 4 consigne les teneurs en éléments métalliques des sédiments prélevés au niveau de deux points de prélèvement dans l'ANDLAU à SAINT PIERRE et à FEGERSHEIM. Les valeurs reflètent l'évolution des concentrations en Hg, Cr, Cu, Ni et Zn entre 1989 et 1993 (ROECK et al. 1990, AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE 1991, 1992, 1993, 1994).

La variabilité spatiale et temporelle du degré de pollution, exprimé par le Facteur de Pollution FP (cf chapitre 2), est élevée. A titre de comparaison, nous indiquons des teneurs de bruit de fond naturel citées par FÖRSTNER & WITTMANN (1981, Tableau 5).

Tableau 4:

Tableau 5:

Dans le cas du Cu, ainsi que dans celui du Ni, au point de prélèvement de SAINT PIERRE, les teneurs en ces métaux dans les mousses aquatiques dépassent chaque année celles rencontrées dans les sédiments (Tableaux 4 et 6). Ici le Cu, comme le Ni, semblent être en grande partie en solution dans l'eau et donc disponibles pour les organismes aquatiques représentés par les bryophytes.

Tableau 6:

En ce qui concerne les teneurs en Cr, Cu, Ni et Zn des bryophytes aquatiques, on remarque que les teneurs en Cr des mousses aquatiques sont presque toujours plus faibles que celles observées dans la fraction fine des sédiments, excepté en 1989 au point de prélèvement à FEGERSHEIM.

Cette répartition des teneurs entre bryophytes et sédiments indique que le Cr est en grande partie fixé au niveau des sédiments qui sont déplacés lors des crues vers l'aval ce qui explique les teneurs élevées en ce métal à FEGERSHEIM. L'apparition de ces fortes teneurs est différée dans le temps et reflète ainsi le déplacement d'un pic de pollution de l'amont vers l'aval.

A FEGERSHEIM, la répartition des teneurs dans les sédiments et les bryophytes est différente: les teneurs en Cu et Ni des deux supports analytiques sont proches et, parfois, les teneurs du sédiment sont supérieures à celles des mousses. Il est possible que cette situation soit due à la plus grande distance de ce point de prélèvement par rapport à la source de pollution initiale de sorte qu'une plus grande proportion de Cu et de Ni soit adsorbée au niveau des sédiments et non disponible pour les mousses aquatiques.

Il est également possible que des caractéristiques physico-chimiques des sédiments interviennent sur la mobilité des éléments métalliques au niveau de l'ANDLAU: ces caractéristiques sont dues à l'origine géologique et lithologique de ceux-ci, ainsi qu'à la géologie et lithologie des secteurs parcourus par la rivière.

En effet, de par le fait que la géochimie d'un secteur lithologique influe sur le "bruit de fond naturel" en métaux lourds des sédiments et des mousses aquatiques, il a semblé intéressant d'effectuer un prélèvement de sédiment et, lors de la troisième phase un prélèvement de bryophyte, au niveau du cours amont de l'ANDLAU (1b^{**}). Ceci a permis d'évaluer les teneurs de bruit de fond naturel de ce secteur à formations cristallines (granitiques) du massif vosgien.

Dans cette partie, un pH faible des précipitations, insuffisamment tamponné par les substrats du lit de la rivière, risque d'entraîner des abaissements momentanés du pH de l'eau de la rivière. Une diminution du pH, par contre, favorise une mise en solution des éléments métalliques, qui sont, sous cette forme, biodisponibles pour les organismes aquatiques, et qui produisent donc un "bruit de fond naturel" élevé également pour les mousses aquatiques.

Les points de prélèvements de sédiments en amont et à l'aval des sources de pollution connues visent à vérifier s'il existe des apports métalliques actuels.

Des prélèvements en amont des confluences de chaque affluent de l'ANDLAU intègrent d'éventuelles sources contaminations métalliques diffuses et

donnent une idée sur l'apport global de contaminations métalliques par chaque affluent. Pour l'ANDLAU, un prélèvement analogue a été réalisé en amont de sa confluence avec l'ILL et à l'aval de la station d'épuration de FEGERSHEIM.

La connaissance du degré de contamination métallique globale de chaque rivière a permis d'orienter le choix des sites de prélèvements ou de transferts de bryophytes aquatiques dans la 3^{ème} phase de ce travail: le degré de contamination des affluents proche du bruit de fond naturel dispensait d'un prélèvement de mousses aquatiques. Des degrés de contamination élevés en trois points (2, 7, 13) ont entraîné des prélèvements supplémentaires au niveau de l'ANDLAU et de la KIRNECK. Cela nous a permis d'affiner les profils longitudinaux de ces deux cours d'eau en effectuant des prélèvements de bryophytes plus en amont par rapport aux sites fortement contaminés.

2. LA ZONE D'ETUDE

2.1. CONTEXTE LITHOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Du point de vue lithologique et hydrogéologique, le bassin versant de l'ANDLAU est hétérogène. L'ANDLAU, rivière à régime hydrologique pluvial océanique, avec une légère tendance nivale en amont du Hohwald, prend sa source à plus de 1060 m d'altitude, sur le versant Est du massif du Champ du Feu et suit un parcours de 42 km avant de se jeter dans l'ILL à hauteur de FEGERSHEIM. Elle traverse deux secteurs géologiques très différents:

- entre sa source en amont du Hohwald et la commune d'Andlau, la rivière coule dans un lit constitué de matériaux cristallins (mica noir, feldspath, quartz, magnétite) du massif vosgien (ENCYCLOPEDIE DE L'ALSACE 1982, PICARD 1992). Dans ce secteur, la rivière est typiquement torrentielle avec une pente moyenne de 63 % .

Les versants de la rive gauche s'étendent dans le granite porphyroïde d'Andlau, tandis que ceux de la rive droite sont caractérisés par les schistes de Villé et par les schistes de Steige métamorphisés (ENCYCLOPEDIE DE L'ALSACE 1982).

A l'aval de la commune d'Andlau, la rivière entre dans la plaine rhénane et le lit est caractérisé par des matériaux fins constitués d'alluvions sablo-argileuses:

sables fins vosgiens entre VALFF et STOTZHEIM et dépôts loessiques entre VALFF et HINDISHEIM (Figure 1, SCHNITZLER-LENOBLE 1989). Dans ce secteur, la pente moyenne est seulement de l'ordre de 1 % .

Le secteur aval du bassin, dénommé "Bruch" de l'ANDLAU et situé à l'aval de VALFF après la confluence de l'ANDLAU et de la KIRNECK, s'individualisa par rapport au lit majeur glaciaire du Rhin vers la fin de la dernière époque du Würm à la suite d'un affaissement du sol dû à un jeu de mouvements tectoniques (Figure 2) qui a également permis l'entaille du Rhin vers l'Est (VOGT 1978, 1992; SCHNITZLER-LENOBLE 1989).

Le soubassement du Bruch de l'ANDLAU est constitué de graviers et de galets alpins calcaires, déposés par le Rhin glaciaire lors de ses crues.

Par la suite, le secteur du Bruch fut délimité par un anneau de terrasses produisant des conditions hydrographiques particulières. En effet, ce secteur, mal drainé, fonctionnait comme une "trappe à sédiments" pour les matériaux fins holocènes charriés par les rivières vosgiennes de ce bassin versant: l'ANDLAU, la SCHEER, l'EHN, le DACHSBACH, le ROSENMEER, la KIRNECK.

Figure 2:

Dans ce secteur, un processus de sédimentation compensait l'affaissement tectonique du fossé rhénan ce qui explique que les matériaux du

soubassement rhénaux se trouvent enfouis sous les dépôts de sables vosgiens (acides) et de colluvion loessique des terrasses d'ERSTEIN et de NIEDERNAI. Dans le secteur Est du Bruch, on trouve les alluvions rhénanes à environ 1 m de profondeur. Dans la partie Ouest l'épaisseur des dépôts atteint jusqu'à 3,5 m (SCHNITZLER-LENOBLE 1989).

Les matériaux alluvionnaires montrent des origines et des caractéristiques géochimiques différentes suivant un axe Sud-Nord, provenant:

- des Vosges (sables fins acides)
- des terrasses de Niedernai et d'Erstein
- du Bruch Nord (matériaux limoneux calcaires)

Globalement, on peut différencier 2 secteurs: une partie sableuse au Sud du Bruch, une partie limoneuse très calcaire située au Nord de ce dernier.

Le niveau de la nappe phréatique du bassin suit celui du régime océanique des rivières vosgiennes avec des hautes eaux en période froide et des basses eaux en été.

3. METHODES D'INTERPRETATION DES RESULTATS

Afin d'évaluer le degré de contamination ou de pollution d'un site donné, il faut disposer de teneurs de référence représentant au mieux le "bruit de fond naturel" pour les métaux recherchés.

3.1. DEFINITION DE LA NOTION DE FACTEUR DE POLLUTION

Le Facteur de Pollution (FP) exprime, pour un élément et un substrat donnés, le rapport entre une concentration de référence standard ("valeurs de référence standard", Tableau 7) caractéristique d'un cours d'eau non pollué et la teneur relevée dans le support analytique en question, (dans notre cas la fraction < 20 µm des sédiments et les bryophytes aquatiques). Ces concentrations de référence ont été obtenues à l'aide de traitements de données effectués sur des

teneurs rencontrées dans divers pays et pour des secteurs lithologiques et géochimiques différents (MOUVET 1986).

X_S

X_S = valeur de référence standard du métal en pour un site non pollué

$FP = \frac{X_1}{X_S}$

X_1 = teneur du métal trouvé dans le support analytique prélevé à une station donnée

FLP (M_1 à M_4)

M_1 à M_4 = classification suivant la grille d'interprétation de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse

TABLEAU 7: VALEURS DE REFERENCE STANDARD ($mg \cdot kg^{-1}$, ms) POUR LE Hg, Cr, Cu, Ni, ET LE Zn DANS DES SEDIMENTS (< 20 μm) ET DANS DES MOUSSES AQUATIQUES

Elément	Hg	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Sédiments (fraction < 20 μm)	0.10	20.0	15.0	12.5	20.0	75.0
Bryophytes aquatiques	0.08	7.0	19.0	20.0	19.0	200.0

TABLEAU 7a: FACTEURS LIMITES DE POLLUTION (FLP) UTILISES DANS
L'INTERPRETATION DU DEGRE DE POLLUTION D'UNE RIVIERE

Support analytique	Facteur Limite de Pollution			
	M₁ (situation normale)	M₂ (pollution certaine)	M₃ (pollution importante)	M₄ (pollution exceptionnelle)
matières en suspension, sédiment < 20 µm	≤ 5	5 à 10	10 à 20	≥ 20
bryophytes aquatiques	≤ 6	6 à 18	18 à 54	>54

3.2. DEFINITION DE LA NOTION DE FACTEUR DE CONTAMINATION

Le Facteur de Contamination (FC) exprime, selon MOUVET (1986), pour un support analytique et un métal donnés, le rapport entre la concentration rencontrée en un point de prélèvement amont, non pollué, de la rivière étudiée et un point aval. Les concentrations métalliques rencontrées dans cette partie sont les "teneurs de référence amont" (**X_{am}**) du cours d'eau représentent le bruit de fond naturel, intègrent les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et des sédiments reflétant les facteurs géochimiques du secteur.

X_{am}

X_{am} = valeur de référence du métal pour un site amont non pollué

$FC = \frac{X_1}{X_{am}}$

X₁ = teneur du métal trouvé dans le support analytique prélevé à une station donnée

3.3. DEFINITION DE LA NOTION DE FACTEUR DE CONTAMINATION PAR SECTEUR GEOCHIMIQUE

De plus, pour des cours d'eau comme l'ANDLAU, il peut être utile d'introduire la notion de Facteur de Contamination par secteur géochimiques (FG) basée sur la "concentration de référence géochimique". Cette dernière intègre les caractéristiques lithologique et géologique des secteurs (paramètres physico-chimiques différents) parcourus par la rivière. Dans le cas de l'ANDLAU, afin de tenir compte des différences géochimiques de la zone amont et de la zone aval, deux stations de référence (1a, 1b, Figure 3) ont été choisies dont l'une dans le secteur à formations cristallines et l'autre dans le secteur à matériaux colluvionnaires.

* Pour le secteur à formation cristallines:

X_{cris}

X_{cris} = valeur de référence du métal pour un site amont non pollué représentant les formations cristallines

$FG_{\text{cris}} = \frac{X_1}{X_{\text{cris}}}$

X_1 = teneur du métal trouvé dans le support analytique prélevé à une station donnée

* Pour le secteur à matériaux fins:

X_{coll}

X_{coll} = valeur de référence du métal pour un site amont non pollué représentant le secteur à matériaux colluvionnaires

$FG_{\text{coll}} = X_1$

X_1 = teneur du métal trouvé

X_{coll} dans le support analytique
prélevé à une station donnée

3.4. IMPACT DES METAUX LOURDS SUR DES SYSTEMES AQUATIQUES

Afin de donner une indication de l'action de ces deux métaux sur le "compartiment des organismes vivants" d'un système aquatique, nous indiquons quelques seuils de toxicité cités dans FÖRSTNER & MÜLLER (1974): pour les bactéries, des concentrations élevées en Cu et en Ni dans l'eau peuvent nuire au bon fonctionnement des stations d'épurations biologiques (1.0 mg/l pour le Cu et à 6.0 mg/l pour le Ni) et à la capacité d'autoépuration d'un cours d'eau (Cu: 0.01 mg/l, Ni: 0.1 mg/l).

Pour les poissons, le seuil de toxicité se situe entre 0.08 et 0.8 mg/l pour le Cu et entre 25 à 55 pour le Ni.

Selon FÖRSTNER & MÜLLER (1974), le Cr a un effet négatif sur les stations d'épuration biologique à partir de concentrations de 2.0 à 5.0 mg/l et il inhibe l'autoépuration des rivières à partir de concentrations de l'ordre de 0.3 mg/l. Le Cr^{6+} provoque un blocage enzymatique chez les bactéries qui agit sur la division cellulaire de ces derniers.

Pour les poissons, le seuil de toxicité se situe entre 15 et 80 mg/l. BREMOND & VUICHARD (1973) indiquent l'action toxique du Cr^{6+} sur les macroinvertébrés. Une pollution par ce métal peut donc avoir des conséquences néfastes pour la faune piscicole: la destruction de la faune benthique servant d'aliment aux poissons risquerait d'entraîner, de façon indirecte, la disparition en partie de la faune piscicole.

Deuxième partie:

LE DEGRE DE POLLUTION
PAR DES METAUX LOURDS
REVELE PAR LES
SEDIMENTS

4. LE DEGRE DE POLLUTION PAR LES METAUX LOURDS REVELE A L'AIDE DES SEDIMENTS

4.1. METAUX LOURDS ET SEDIMENTS

Des métaux qui atteignent un système aquatique sont rapidement incorporés dans les sédiments, mais des paramètres physico-chimiques et biologiques peuvent influencer sur la transformation de leur forme chimique et sur leur remobilisation (FÖRSTNER & WITTMANN 1981). Pour un tronçon de rivière donné et après une pollution ponctuelle, les teneurs métalliques diminuent avec le temps. Cette diminution locale est due au déplacement amont - aval des sédiments contaminés, notamment lors des hautes eaux (RAMADE 1981).

L'augmentation importante de la vitesse du courant lors des crues produit une remise en suspension des sédiments contaminés, sédiments qui se déposent ensuite, lors de la décrue, dans des secteurs aval. De cette manière on peut observer le déplacement d'un pic de pollution de l'amont vers l'aval. L'évolution d'un tel déplacement dépend de l'importance et de la durée des crues (CARBIENER 1978, RAMADE 1981). Il s'agit donc d'un effet de dispersion vers les différents compartiments qui entraîne une diminution des concentrations en métaux lourds des sédiments. Les métaux lourds, une fois introduits dans les cycles biogéochimiques, y persistent et atteignent, à moyen ou long termes, les océans.

A noter que l'état des connaissances sur l'impact des micropolluants persistants, tels les métaux lourds, au niveau des systèmes aquatiques marins reste toujours lacunaire.

4.2. LOCALISATION DES POINTS DE PRELEVEMENT DES SEDIMENTS

Le choix des points de prélèvement de sédiments a découlé étroitement de la localisation des installations classées du bassin hydrographique de l'ANDLAU.

Les stations de référence mises à part, les prélèvements ont été effectués en amont et à l'aval des sources de pollution "historiques" et/ou actuelles connues. Afin de disposer d'informations sur le degré de la pollution globale des affluents de l'ANDLAU, des prélèvements ont été réalisés au niveau du cours aval de ces derniers (Figure 3).

Les techniques de prélèvement, de minéralisation et d'analyses sont consignées dans l'Annexe 17.

5. RESULTATS ET DISCUSSION

Les analyses des sédiments prélevés le 17 et 18 mars 1994, après une période prolongée de hautes eaux et après 15 jours de situation hydrologique normale et stable, dans l'ANDLAU et ses confluent révèlent la situation suivante: Parmi les 8 éléments pris en considération et dont les teneurs sont consignés dans les tableaux 9, 10 et 11, 3 éléments (Cd, As, Zn) ont été rencontrés à des concentrations reflétant une situation normale (M_1), si on se base sur la grille d'interprétation utilisant le FLP (Tableau 7a) habituellement appliquée par l'Agence de l'eau Rhin-Meuse.

Les sédiments sont plutôt sableux à limoneux (Tableaux 8, 8a). La fraction fine $< 20 \mu\text{m}$ est peu abondante et les taux des matière organique reflétés par le Carbone Organique Total (COT) sont relativement faibles: ils se situent entre 2.7 et 5.6 % de la matière sèche du sédiment (Tableau 8, Annexes 1 à 15). Les teneurs de référence par secteur géochimique, malgré un taux relativement élevés, indiquent également une absence de pollution pour Cd, As et le Zn.

Quant au Pb, les FP reflètent également une situation normale, excepté le point de prélèvement dans la KIRNECK à l'aval de Bourgheim (7) avec un FP de 7.0 (valeur de référence standard: $20.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, m.s.; M_2) indiquant une pollution certaine.

Les métaux lourds qui présentent les concentrations les plus élevées dans l'ANDLAU et ses confluent sont: le Hg, le Cr, le Cu et le Ni (Tableaux 10, 11), éléments qui seront sujet à une discussion plus détaillée ci-dessous.

Le degré de pollution des sédiments pour certains points de prélèvement reflète bien la corrélation entre des sources de pollution connues et les teneurs métalliques rencontrées. Il s'agit vraisemblablement de pollutions métalliques "historiques" très persistantes dans les systèmes aquatiques ce qui explique que les teneurs en métaux lourds des sédiments soient (encore) élevées et cela

malgré la suppression, depuis le début des années quatre-vingt des rejets directs dans la rivière.

A noter que les "teneurs de référence géochimique" obtenues pour les stations 1a et 1b sont relativement élevées. Par conséquence, les FP (Tableau 11, 11a) sont plus élevés que les FG (Tableaux 10, 10a).

5.1. LE DEGRE DE POLLUTION ACTUEL DE L'ANDLAU

5.1.1. LA POLLUTION PAR LE CUIVRE ET PAR LE NICKEL

Le profil longitudinal des teneurs en cuivre (Cu) ainsi que celui du nickel (Ni) des sédiments provenant de l'ANDLAU révèle un pic important de ces deux métaux lourds à l'aval du point de la station 2 (Cu FG: 9.4, Ni FG: 4.8, Figures 4, 5). Entre ces deux stations se trouve l'installation classée de STOCKO FRANCE, une entreprise de traitement de surface utilisant, entre autres, des bains contenant du Cu et du Ni. Avant sa connexion au réseau d'assainissement au début des années quatre-vingt, cette entreprise a rejeté des eaux usées directement dans l'ANDLAU.

On constate que, par rapport aux teneurs métalliques relevées à la station 4, à l'aval des NOUVELLES TANNERIES HAAS (Figure 4, 5), la teneur en Ni à l'aval de la station d'épuration à Valff (8) augmente, tandis que celle en Cu diminue. Cette faible teneur en Cu pourrait s'expliquer par soit par une plus grande mobilité du Cu dans ce système aquatique entraînant donc une dispersion rapide, soit par une élimination plus efficace de cet élément lors du traitement des eaux usées.

Un deuxième secteur caractérisé par d'importantes teneurs en Cu et en Ni est localisé, à hauteur de LIPSHEIM et en amont de la Zone Industrielle de cette commune (13). La distribution des secteurs contaminés semble indiquer deux sources de pollution différentes, car il n'y a pas de continuité des teneurs en Cu et en Ni le long du profil amont-aval de la rivière. toutefois, une source de pollution pour ces deux métaux dans le secteur de LIPSHEIM-FEGERSHEIM n'est pas connue et la combinaison des métaux (Cu, Ni) au niveau de ce tronçon de la rivière est la même qu'au niveau du secteur amont à EICHHOFFEN.

En effet, il semble plutôt s'agir de deux pics de pollution provenant d'une même source. Dans ce cas, les pics des concentrations en Cu et en Ni de ces deux secteurs représentent :

- des pollutions récentes de l'ANDLAU (station 3), à l'aval de STOCKO FRANCE.

- des pollutions historiques, intégrées d'abord dans les sédiments qui ont été déplacés successivement avec les crues de l'amont vers l'aval (remise en suspension des particules lors des hautes eaux suivie du dépôts des sédiments dans des secteurs aval).

La station d'épuration de Fegersheim (14) n'apporte pas de quantités supplémentaires en Cu ou en Ni.

5.1.2. LA POLLUTION PAR LE CHROME

Le profil longitudinal des teneurs en chrome (Cr) des sédiments est caractérisé par des faibles teneurs au niveau des stations 1b, 2, 3 et 4 indiquant une situation normale (M_1).

A l'aval de la station d'épuration du "SIVOM du coin de Barr" (8), la situation est différente: on remarque une augmentation d'un facteur 7 des teneurs en Cr par rapport à la teneur rencontrée à la station 1b en amont de la commune d'Andlau (Figure 6). Le FG s'élève à 6.4 par rapport à la station de référence au niveau de la SCHEER (1a) indiquant ainsi une pollution certaine des sédiments. Cette station d'épuration reçoit les eaux usées de certaines installations classées du bassin amont de l'ANDLAU, c'est-à-dire les eaux usées domestiques de l'entreprise de traitements de surface et toutes les eaux usées des tanneries à Andlau-Eichhoffen et également des tanneries à Barr.

Selon le rapport d'activité du SDEA (1991), cette station d'épuration a atteint ses limites fonctionnelles. En raison des teneurs élevées en Cr, les boues produites par cette station sont impropres à toute valorisation agricole (SDEA 1991). En effet, il est tout à fait probable que les eaux contiennent encore, après

traitement, des teneurs importantes en Cr entraînant une augmentation des concentrations au niveau des sédiments à l'aval de la station d'épuration (8).

La concentration maximale de Cr pour les stations étudiées est relevée à la station 13 à Lipsheim.

Comme pour le Cu et pour le Ni, il est fort possible qu'il s'agisse d'un pic d'une ancienne pollution provenant du secteur amont et illustrant bien le déplacement spatio-temporel d'un pic de pollution "historique" (RAMADE 1981).

5.1.3. LA POLLUTION PAR LE MERCURE

Le taux de mercure (Hg), déjà relativement élevée au niveau de la station de référence (1b) située en amont de la commune d'ANDLAU, reflète une "situation normale" pour ce tronçon amont de la rivière.

Néanmoins, il n'est pas certain que cette valeur de référence élevée soit réellement représentative du "bruit de fond naturel" de ce secteur. D'une part, certains secteurs de la plaine du Rhin supérieur ont été affectés, au cours de ce siècle, par des pollutions mercurielles (CARBIENER 1978) dont la forme volatile, transportée par voie atmosphérique (LINDQVIST 1991), est susceptible d'affecter ensuite d'autres secteurs des vallées, notamment les secteurs amont, provoquant ainsi une contamination des rivières dès la source.

D'autre part, les secteurs de schistes parcourus par l'ANDLAU pourraient contribuer à des teneurs de bruit de fond relativement élevées (FÖRSTNER & WITTMANN 1981) dans cette rivière.

Le sédiment prélevé à l'aval de la commune d'Andlau (2) et en amont de l'usine de traitement de surface STOCKO FRANCE (3) montre un taux de Hg élevé: 1.1 µg/g (ms) (Figure 7). Le FG est de 2.3 indiquant une "situation normale" tandis que le FP de 11.5 indique une pollution importante (M₃); difficile à évaluer si les concentrations élevées en Hg sont d'origine anthropique ou d'origine naturelle. Parmi les installations classées de ce secteur, aucune n'est susceptible de provoquer des pollutions par le Hg et la question est de savoir s'il s'agit d'une

pollution ancienne ("pollution historique") ou/et d'une pollution actuelle. Il serait également important de savoir quel type d'entreprise (ou de dépôt, décharge...) du bassin amont de l'ANDLAU aurait pu ou peut représenter une source de pollution par ce métal lourd.

Le point de prélèvement à l'aval de la station d'épuration de FEGERSHEIM (14) révèle des teneurs élevées de Hg (0.95 µg/g ms). Le FG est de 2.8 tandis que le FP s'élève à 9.5. Une contamination pourrait avoir son origine au niveau de la Zone Industrielle de Lipsheim.

5.2. LE DEGRE DE POLLUTION ACTUEL DE LA KIRNECK

5.2.1. LA POLLUTION PAR LE CHROME

En ce qui concerne la KIRNECK, la situation par rapport à une pollution par le chrome (Cr) est comparable à celle de l'ANDLAU (Figure 8). Les fortes teneurs en Cr des sédiments, très certainement dues aux anciennes tanneries et reflétées par la teneur en Cr rencontrée à la station 5 dans la partie amont de la commune de BARR et à l'aval des tanneries DEGERMANN S.A. (6) n'apparaissent qu'à l'aval de la commune de BOURGHEIM (7). Le sédiment du tronçon aval de cette rivière, situé en amont de sa confluence avec l'ANDLAU (10), est encore plus fortement pollué que celui de la station plus en amont (Figure 8).

On peut estimer que le degré de pollution des stations 7 et 10 est "très important" avec un FG de 17.6 à la station 7 et avec un FG de 29.4 à la station 10. Il semble s'agir ici, comme pour la pollution par le Cu et le Ni, d'un pic de pollution qui se déplace de l'amont vers l'aval. Au niveau du cours aval de la KIRNECK, la pente, et par conséquent la vitesse du courant sont très faibles. En effet, le transport des sédiments pollués vers l'aval ne s'effectue que très lentement. De plus, la solubilité du Cr dépend de son degré d'oxydation. Les sels de Cr 3^+ sont totalement solubles dans l'eau, sauf l'hydroxyde et le carbonate. Les sels hexavalents sont en partie solubles dans l'eau, mais ils sont toxiques pour la faune, comme, par exemple, pour les macroinvertébrés (BREMOND & VAUCHARD 1973).

Les sédiments pollués de cette rivière provenant du secteur de Barr représentent, encore à l'heure actuelle, une source de pollution importante pour l'ANDLAU.

5.2.2. LA POLLUTION PAR LE MERCURE

Le profil longitudinal des teneurs mercurielles (Hg) des sédiments reflète une situation inquiétante au niveau du tronçon aval de la KIRNECK (Figure 9). Par rapport à la teneur rencontrée à la station de référence dans la SCHEER (1a), les concentrations augmentent d'un facteur de 5 entre BARR (5) et le secteur aval de BOURGHEIM (7) pour atteindre un FG de 5.5 indiquant l'existence d'une source de pollution.

Vers l'aval, la situation s'améliore: le sédiment prélevé au niveau du cours aval de cette rivière (10) présente une teneur de $0.75 \mu\text{g Hg.g}^{-1}$ (ms) ce qui correspond FG de 2.2. De ce fait, les sédiments pollués de la KIRNECK représentent une source de contamination par ce métal très toxique.

Malheureusement, comme dans le cas du cours amont de l'ANDLAU, les informations recueillies auprès des administrations compétentes, ne nous permettent pas d'identifier une source de pollution et, de nouveau, se pose la question de savoir s'il s'agit d'une pollution récente ou/et "historique".

C O N C L U S I O N

En résumé, on peut dire que le raccordement de certaines installations classées (tanneries) à la station d'épuration depuis le début des années quatre-vingt a permis de réduire, de façon significative, le degré de pollution du tronçon amont de l'ANDLAU ainsi que celui de la KIRNECK, néanmoins on remarque également, que les pollutions "historiques" persistent encore et ne se dispersent que très lentement.

Les teneurs mercurielles de certains sédiments provenant de l'ANDLAU et de la KIRNECK indiquent une situation inquiétante quant au degré de pollution par cet élément très toxique, d'autant plus que l'origine de cette pollution ne peut pas être expliquée sur la base des informations recueillies auprès de l'administration.

Les résultats d'analyse pour deux confluent de l'ANDLAU (SCHEER, SCHEER NEUVE, DACHSBACH) reflètent une situation globale normale quant à une pollution par des métaux lourds.

Troisième partie:

***LE DEGRE DE POLLUTION
PAR DES METAUX LOURDS
REVELE PAR LES
BRYOPHYTES AQUATIQUES***

6. LE DEGRE DE POLLUTION DU BASSIN DE L'ANDLAU PAR DES METAUX LOURDS REVELE PAR LES BRYOPHYTES AQUATIQUES

La démarche adoptée dans cette phase de l'étude se base sur la méthode des mousses aquatiques (MOUVET 1986). Des points de prélèvement de bryophytes ont été déterminés en fonction du degré de contamination révélé par les sédiments provenant des cours d'eau du réseau hydrographique de l'ANDLAU. Pour les tronçons de rivière dépourvus de bryophytes autochtones, des transferts de mousses provenant du cours amont de l'ANDLAU ont été réalisés.

Etant donné que le nombre de stations de prélèvement avait été fixé antérieurement au nombre de 15, nous avons éliminé les stations situées sur les affluents (SCHEER NEUVE, DACHSBACH) n'ayant pas présenté d'anomalies vis-à-vis des 8 éléments recherchés (Hg, Cd, As, Cr, Pb, Cu, Ni, Zn). Nous avons préféré affiner les profils longitudinaux de l'ANDLAU et de la KIRNECK. Ces deux cours d'eau ont présenté des degrés de pollution métallique des sédiments, indiquant des "pollutions certaines" et, au niveau de certaines stations, des "pollutions exceptionnelles".

Dans l'ensemble, les emplacements des points de prélèvement de mousses aquatiques correspondent à la localisation des stations de prélèvement des sédiments (Figures 3, 10).

Dans les sédiments, des concentrations élevées en éléments métalliques avaient été rencontrées au niveau des stations 2, 7 et 13. Elles sont à l'origine du choix des points de prélèvement supplémentaires dans l'ANDLAU et dans la KIRNECK:

- l'ANDLAU à hauteur du limnigraphe dans la commune d'ANDLAU (2a).

- l'ANDLAU à l'aval de HINDISHEIM représentant le cours moyen de cette rivière (13a).
- la KIRNECK en amont de BOURGHEIM (7a).

Dans la mesure du possible, des bryophytes autochtones ont été utilisés. Des transferts de bryophytes s'avérait nécessaire au niveau des cours aval de l'ANDLAU et de la KIRNECK.

Lors de la campagne de transfert, un échantillon moyen a été constitué afin de connaître les teneurs métalliques initiales des mousses aquatiques. La période d'exposition des mousses s'élevait à un mois.

6.1. LA METHODE DES MOUSSES AQUATIQUES

Les principales caractéristiques de la méthode des bryophytes aquatiques, développée et affinée en France par MOUVET (1984, 1986) et MOUVET et al. (1986) résident dans:

- leurs capacité d'accumuler des métaux lourds à partir de l'eau. Cela leur confère un rôle d'amplificateur de la contamination de l'eau, même si les concentrations en éléments métalliques de cette dernière sont très faibles, voire en dessous des seuils de détection analytiques sur le support analytique "eau": les mousses rendent ces traces de micropolluants "détectables".

- leur comportement d'accumulation (rapide) et de relargage (plus lent) des métaux lourds permet de suivre l'évolution du degré de contamination par des métaux lourds d'un cours d'eau. Après le passage d'un pic de pollution entraînant une augmentation des teneurs dans les mousses, les teneurs baissent à partir du moment où les concentrations en ions métalliques de l'eau ont diminué. De ce fait, les mousses aquatiques intègrent l'évolution non seulement temporelle ("effet mémoire"), mais aussi spatiale (situation amont-aval) par rapport au degré de pollution d'une rivière par des métaux.

- les teneurs en métaux lourds des mousses aquatiques comparées à celles rencontrées au niveau des sédiments prélevés pour une même station renseignent sur les proportions d'éléments biodisponibles dans un système aquatique donné.

- le mode de vie sédentaire des bryophytes aquatiques permet une localisation précise des sources de pollutions.

- la possibilité de transfert des mousses aquatiques donne la possibilité d'étudier des tronçons de rivière susceptibles de recevoir des rejets contaminés en l'absence de mousses autochtones. Le temps d'intégration pour des campagnes de transferts est de l'ordre d'un mois.

Dans le cadre de ce travail, l'utilisation des bryophytes aquatiques vise les objectifs suivant:

* confirmer ou/et affiner les résultats obtenus à l'aide des sédiments.

** donner un aperçu sur le degré de contamination actuel du réseau hydrographique de l'ANDLAU en tenant compte, en particulier, de l'aspect de la biodisponibilité issue de pollutions "historiques" et/ou récentes.

Il faut rappeler que des métaux lourds introduits dans le milieu naturel entrent dans les cycles naturels et y persistent pendant des décennies. Une dégradation naturelle n'existe pas et une diminution des teneurs métalliques n'est due qu'à une dispersion des quantités introduites en un point précis d'un écosystème (FÖRSTNER & WITTMANN 1981).

De par leur toxicité, les micropolluants métalliques représentent un risque important pour l'équilibre écologique des systèmes naturels et indirectement pour la santé de l'homme qui est le chaînon final d'un grand nombre de chaînes trophiques. Au travers d'une contamination des systèmes aquatiques par des métaux lourds, un risque de contamination pour l'homme réside dans la contamination de la "ressource eau" et du poisson dont la chair est susceptible d'accumuler ces éléments.

7. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des dosages effectués sur des échantillons de mousses aquatiques sont consignés dans les tableaux 12, les tableaux 13 et 14 regroupent les Facteurs de contamination par secteur géochimiques (FG) et les Facteurs de Pollution (FP).

7.1. LE DEGRE DE POLLUTION ACTUEL DE L'ANDLAU

7.1.1. LA POLLUTION PAR LE CUIVRE ET PAR LE NICKEL

La distribution des teneurs en ces deux métaux le long du profil longitudinal de l'ANDLAU (Tableau 12) révèle un degré de pollution élevé. Pour le Cu, on constate une pollution exceptionnelle au niveau des stations 3 (Figures 11, 12), à l'aval de STOCKO FRANCE, (FG 73.4) et 4 (FG: 92.2, Tableau 13).

Dans le cas du Ni (Figure 12) dont le "bruit de fond naturel" est très faible pour ce secteur géologique (3.7 µg Ni/g (ms), station 1b, Tableau 12). Les stations 3 et 4 révèlent une pollution importante pour le Cu et le Ni: Les FG s'élèvent à 107.1 et 142,4 respectivement.

Les teneurs en Cu et en Ni dans les bryophytes aquatiques provenant de ces deux stations, surtout en les confrontant aux profils obtenus à l'aide des sédiments (Figures 3, 4) reflètent une pollution chronique due au relargage de ces deux métaux à partir des sédiments anciennement pollués par STOCKO FRANCE. Les résultats obtenus à l'aide des bryophytes indiquent que la rivière reçoit toujours des rejets contenant du Cu et du Ni qui s'ajoutent aux contaminations " historique " des sédiments.

Les concentrations en Cu et en Ni des échantillons de mousses montrent également que ces deux métaux sont fortement biodisponibles dans des systèmes aquatiques.

Au niveau du cours aval de l'ANDLAU, représenté par les stations 8 à l'aval de la station d'épuration du SIVOM, 13a à l'aval de la commune de HINDISHEIM, 13 en amont de LIPSHEIM et 14 à l'aval de la station d'épuration de FEGERSHEIM, les FG se situent entre 0.7 et 2.0 pour le Cu indiquant une "situation normale", alors que pour le Ni apparaît une "pollution certaine" au niveau de la station 13a (FG: 15.7).

Ces résultats confirment ceux obtenus à l'aide des sédiments et illustrent le déplacement de pics de pollutions "historiques" le long du profil amont - aval.

7.1.2. LA POLLUTION PAR LE CHROME

Les teneurs en Cr dans les bryophytes aquatiques du cours de l'ANDLAU situé en amont des NOUVELLE TANNERIES HAAS à EICHHOFFEN, comprenant les stations 1b, 2a, 2 et 3, reflètent une " situation normale " avec des FG allant de 0.9 à 1.9.

Le "bruit de fond naturel" pour le Cr est très faible: 4.92 $\mu\text{g Cr/g}$ (ms) au niveau de la station de référence amont de l'ANDLAU (1b).

Par contre, le point de prélèvement 4 situé à l'aval de NOUVELLES TANNERIES HAAS à EICHHOFFEN (Figure 13), est caractérisé par une "pollution exceptionnelle". Par rapport à la teneur en Cr rencontrée au niveau de la station de référence amont (1b), le FG pour la station 4 révèle une augmentation d'un facteur 147,3 de la teneur en Cr. La teneur en Cr de la mousse prélevée à l'aval de la station d'épuration à VALFF (97.4 $\mu\text{g/g ms}$; station 8) révèle des apports de Cr avec les eaux provenant de celle-ci.

Le cours aval de l'ANDLAU est caractérisé par des teneurs indiquant une " situation normale " vis-à-vis d'une pollution par ce métal.

En comparant le profil longitudinal obtenu à l'aide des mousses aquatiques avec celui réalisé à l'aide des sédiments, on constate que les FG des bryophytes (FG: 147.3, station 4) pour le Cr sont nettement supérieurs à ceux observés pour les sédiments (FG: 1.2).

Cela pourrait être dû à une faible teneur en matière organique du sédiment en ce point de prélèvement (COT: 30.6 mg/g de la fraction < 20 μm , Tableau 7) ou à la forte mobilité du Cr dans les systèmes aquatiques (BREMONT & VUICHARD 1973).

Cette hypothèse semble peu probable, car les sédiments provenant d'autres stations contiennent des teneurs importantes en Cr pour des teneurs en

COT qui ne dépassent que faiblement celle des sédiments de la station 4 (Tableau 8).

7.1.3. LA POLLUTION PAR LE MERCURE

Le profil longitudinal des teneurs en Hg dans les mousses aquatiques ressemble étroitement à celui obtenu à l'aide des sédiments (Figures 7, 14). Pour le cours amont de l'ANDLAU, les teneurs des bryophytes reflètent une "pollution importante" avec un FG de 44.3 à la station 4 en se basant sur la teneur très faible de la mousse en Hg prélevée à la station de référence 1b ($< 0.01 \mu\text{g Hg/g (ms)}$).

Vers l'aval, les teneurs en Hg sont faibles et indiquent une "situation normale". Le FG, un peu plus important, de la station 14 (FG: 3.0) peut indiquer un apport de ce métal par la station d'épuration de FEGERSHEIM, mais il semble plus probable que des remous de l'III, rivière contaminée par ce métal, apportent du Hg. A noter que le FP pour le sédiment prélevé lors de la campagne annuelle 1993 pour l'Agence de l'eau Rhin-Meuse était de 17.7.

7.2. LE DEGRE DE POLLUTION ACTUEL DE LA KIRNECK

7.2.1. LA POLLUTION PAR LE CHROME

La situation reflétée par les teneurs en Cr des bryophytes aquatiques du secteur amont de la rivière correspond pour les FG, sur la base de la grille d'interprétation des FP, à une "situation normale".

Au niveau du cours moyen de la KIRNECK, on observe une "pollution certaine" (FG: 9.7), à l'aval des tanneries DEGERMANN S.A. à BARR (station 6, Figure 15).

Sur la base de la méthode des mousses aquatiques, le cours aval est caractérisé par une "situation normale" avec des FG de 4.9 et de 5.5 aux points 7 et 10 respectivement. En comparaison avec les FG des sédiments de ces stations indiquant une "pollution importante" et une "pollution exceptionnelle" par cet

élément (station 7, FG: 17.6; station 10, FG: 29.4), les FG des mousses aquatiques sont très faibles et auraient tendance à laisser croire à une "situation normale" dans ce secteur. Les résultats différents obtenus à l'aide de ces deux supports analytiques différents révèlent plutôt une faible biodisponibilité du Cr dans ce secteur géologique caractérisé par des sables fins vosgiens (cf. Chap. 2).

7.2.2. LA POLLUTION PAR LE MERCURE, LE PLOMB ET LE ZINC

Les teneurs en Hg des bryophytes aquatiques montrent sensiblement la même distribution spatiale que celle rencontrée pour les sédiments (Figures 9, 16).

La mousse provenant du point de prélèvement supplémentaire 7a, situé à l'amont de la commune de Bourgheim, montre une teneur supérieure à celle de la station 7 à l'aval de cette commune. Les FG (69.9 et 4.9 pour les points 7a et 7 respectivement) indiquent une " pollution exceptionnelle " pour la station 7a et une " situation normale " pour la station 7.

La source de pollution semble être située en amont de BOURGHEIM et à l'aval du secteur des anciennes tanneries à BARR (station 5). Rien ne permet de déduire s'il s'agit de pollutions "historiques" (relargages à partir des sédiments) ou de pollutions récentes.

Comme pour les sédiments, les teneurs en Pb des bryophytes aquatiques révèlent une pollution du tronçon de la KIRNECK (Tableaux 13, Figure 17) qui se situe à l'aval du secteur des anciennes tanneries à BARR (station 5, FG: 3.7). Les FG les plus importants sont atteints au niveau de la station 7a en amont de la commune de BOURGHEIM (FG Pb: 51.0; Zn: 14.2).

La source de pollution pour le Zn est à rechercher à l'aval de la station 6 située au centre ville de BARR et en amont de BOURGHEIM (Figure 18). A mentionner ici que le tronçon de la KIRNECK, qui est représenté par la station 7a peut être décrit comme " rivière poubelle " (anciennes petites machines agricoles, ustensiles en métal dans la rivière peu profonde).

La pollution par le Pb semble due à des apports de ce métal au niveau du secteur amont de la ville de BARR, comme dans le cas du Hg.

Malheureusement, les informations recueillies auprès des administrations compétentes ne permettent pas d'identifier les sources de pollution.

CONCLUSION GENERALE

Les teneurs en Cd et en As dans les sédiments et les bryophytes du réseau hydrographique de l'ANDLAU indiquent l'absence actuelle de sources de pollutions pour ces éléments. Dans le cas du Pb et du Zn, la situation est comparable, à part quelques restrictions pour l'ANDLAU et pour la KIRNECK.

Les éléments présents dans les cours d'eau de ce bassin à des concentrations représentant des pollutions certaines ou exceptionnelles sont: Cr, Cu, Ni et Hg.

Deux affluents de l'ANDLAU, le DACHSBACH et la SCHEER (SCHEER NEUVE) présentent une " situation normale " pour les 8 éléments recherchés.

Les résultats obtenus à l'aide de deux supports analytiques différents, à savoir des sédiments et des bryophytes aquatiques, mènent, quand on les utilise séparément, à des interprétations divergentes du degré de pollution d'une rivière par des métaux lourds (Figures 19 à 21). Par exemple: selon les résultats obtenus à l'aide des sédiments, ce sont les stations 7 (KIRNECK à l'aval de BOURGHEIM), 13 (ANDLAU en amont de LIPSHEIM) et 3 (ANDLAU à l'aval de STOCKO FRANCE) qui sont les plus polluées par certains métaux. En se basant sur les résultats obtenus à l'aide des mousses aquatiques, ce sont plutôt les stations 7 et 7a (KIRNECK à l'aval et en amont de BOURGHEIM) qui sont le plus fortement polluées par des métaux.

Pour certains points, l'interprétation du degré de pollution peut varier en fonction du support analytique utilisé (par exemple au niveau de l'ANDLAU: station 3, à l'aval de STOCKO FRANCE, et station 4, à l'aval des NOUVELLES TANNERIES HAAS. Pour Cu, Ni et Cr, les teneurs des sédiments montrent des valeurs nettement plus élevées que celles des bryophytes.

Dans l'ensemble, les bryophytes présentaient des Facteurs de contamination par secteur géochimique (FG) plus importants que les sédiments. Cela peut être dû, soit à la grande mobilité des ions métalliques dans ce système aquatique, soit à des effets de concentration lors des basses eaux en été.

Les profils longitudinaux des sédiments et des mousses aquatiques réalisés pour évaluer le degré de pollution l'ANDLAU par le chrome diffèrent fortement l'un de l'autre.

Ils ont permis de déceler l'existence de pollutions " historiques " par Cr. Au niveau du secteur amont de l'ANDLAU, les teneurs en Cr des bryophytes prélevés à l'aval des NOUVELLES TANNERIES HAAS à EICHHOFFEN (station 4) et à l'aval des tanneries DEGERMANN S.A. à BARR (stations 6, 7a) révèlent le passage de pics de pollution récents. Les teneurs des sédiments (stations 4, 7 (KIRNECK à l'aval de BOURGHEIM)) reflètent l'existence de pollutions anciennes et/ou chroniques par ce métal. Cette interprétation se trouve encore consolidée par les teneurs en Cr des sédiments des secteurs aval, autant de l'ANDLAU que de la KIRNECK (stations 13, ANDLAU en amont de LIPSHEIM, et 10, KIRNECK à l'aval de VALFF) qui illustrent les mécanismes de transport (non continu) des sédiments contaminés suivant le gradient amont -aval.

La contradiction apparente au niveau de la station 13 pour le Cr, entre de faibles teneurs dans les bryophytes et des teneurs élevées dans les sédiments, peut s'expliquer par la mauvaise biodisponibilité de cet élément. Elle n'exclut pas un impact au niveau de la faune benthique très sensible au Cr.

On observe le même phénomène pour Cu et Ni, avec deux secteurs pollués dont l'un est situé au niveau du cours amont de l'ANDLAU (stations 3, 4) et l'autre au niveau du cours aval de la rivière (stations 13, 13a). Les teneurs en Cu et en Ni rencontrées à la station 3, à l'aval des ateliers de traitement de surface de STOCKO FRANCE, révèlent la présence de pollutions récentes qui sont reflétées par les teneurs élevées dans les bryophytes, ainsi que des pollutions " historiques " traduites par les teneurs importantes en ces métaux dans les sédiments.

La présence simultanée de teneurs importantes en Cu et en Ni dans les sédiments du cours aval de l'ANDLAU en amont de LIPSHEIM (station 13) illustrent, une fois de plus, l'existence du déplacement, souvent discontinu, des

pics de pollution dans l'espace (distribution amont-aval) et dans le temps (les sédiments contaminés sont transportés plus ou moins vite de l'amont vers l'aval).

Ce déplacement dépend de l'hydraulicité du cours d'eau, de la géochimie des secteurs parcourus et des mécanismes de fixation/relargage à l'interface eau-sédiment.

On note également des teneurs élevées en Hg, tant dans les sédiments que dans les mousses aquatiques, à hauteur de la commune d'ANDLAU et à l'aval de la commune BARR. Une source de pollution précise n'a pas été identifiée et les teneurs importantes de "bruit de fond naturel" ne suffisent pas à expliquer ces taux de Hg des deux supports analytiques. S'agirait-il de pollutions mercurielles qui atteignent les secteurs amont des vallées, depuis la plaine, par voie atmosphérique?

Comparés aux résultats obtenus à l'aide des sédiments, ceux de la 3^{ème} phase révèlent des pollutions supplémentaires de la KIRNECK par deux métaux; Il s'agit du Pb, du Zn et du Hg rencontrés à des concentrations indiquant une pollution par ces éléments, surtout au niveau de la station 7a située à l'amont de BOURGHEIM. Des apports diffus mis à part, une éventuelle source de pollution, au moins pour le Pb et le Zn, peut être représentée par des ateliers de peinture situés dans ce secteur, mais rien ne nous permet de l'affirmer avec certitude.

Les résultats obtenus à l'aide des analyses effectuées sur des échantillons de sédiments et de bryophytes aquatiques montrent clairement l'existence de rejets, anciens et récents, de métaux lourds dans l'ANDLAU et dans la KIRNECK provenant très certainement des installations classées (Cr, Cu et Ni) ou de sources soit non identifiées ou diffuses (Hg, Pb et Zn).

Les profils longitudinaux réalisés à l'aide des sédiments révèlent:

* l'impact spatio-temporel des pollutions par des métaux lourds, leur persistance dans les cours d'eau.

** la discontinuité des mécanismes de transport de sédiments contaminés au sein d'une rivière.

*** la difficulté d'évaluer de façon précise le degré de contamination d'un cours d'eau vis-à-vis des pollutions par des micropolluants persistants, car on risque toujours de prélever en amont ou à l'aval d'un pic de pollution.

Les profils longitudinaux réalisés à l'aide des mousses aquatiques montrent:

* l'existence de pollutions récentes qui n'ont pas pu être décelées à l'aide des sédiments

** des différences en ce qui concerne la biodisponibilité des métaux lourds

Cette étude a été réalisée par l'équipe de recherche du:

CENTRE D'ANALYSES ET DE RECHERCHES

Département Hydrologie et Environnement

UNIVERSITE LOUIS PASTEUR - STRASBOURG

Le Directeur du Laboratoire

L'Ingénieur d'études
Docteur en Hydroécologie

A. EXINGER

U. ROECK
à Strasbourg, le 30 janvier 1995

A N N E X E S

ANNEXE 1: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 1a* (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 2: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 1b** (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 3: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 2 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 4: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 3 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 5: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 4 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 6: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 5 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 7: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 6 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 8: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 7 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 9: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 8 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 10: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE

PRELEVEMENT 9 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 11: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 10 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 12: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 11 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 13: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 12 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 14: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 13 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 15: DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE AU NIVEAU DU POINT DE PRELEVEMENT 14 (pour la fraction < 63 μm obtenue par tamisage)

ANNEXE 16: LISTE DES REJETS EN RIVIERE DANS LE BASSIN DE L'ANDLAU (d'après LANDRAGIN 1988)

FIGURE 1: ESQUISSE GEOMORHOLOGIQUE DU BRUCHE DE L'ANDLAU
(d'après SCHNITZLER-LENOBLE 1989)

FIGURE 2: PHENOMENES TECTONIQUES QUATERNAIRES
(d'après VOGT, dans SCHNITZLER-LENOBLE 1989)

FIGURE 4: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
SEDIMENTS PAR LE CUIVRE (Cu)

FIGURE 5: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
SEDIMENTS PAR LE NICKEL (Ni)

FIGURE 6: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
SEDIMENTS PAR LE CHROME (Cr)

FIGURE 7: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
SEDIMENTS PAR LE MERCURE (Hg)

FIGURE 8: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
SEDIMENTS PAR LE CHROME (Cr)

FIGURE 9: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
SEDIMENTS PAR LE MERCURE (Hg)

FIGURE 11: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE CUIVRE (Cu)

FIGURE 12: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE NICKEL (Ni)

FIGURE 13: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE CHROME (Cr)

FIGURE 14: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE MERCURE (Hg)

FIGURE 15: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE CHROME (Cr)

FIGURE 16: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE MERCURE (Hg)

FIGURE 17: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES

BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE PLOMB (Pb)

FIGURE 18: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE ZINC (Zn)

FIGURE 1: ESQUISSE GEOMORHOLOGIQUE DU BRUCHE DE L'ANDLAU
(d'après SCHNITZLER-LENOBLE 1989)

FIGURE 2: PHENOMENES TECTONIQUES QUATERNAIRES
(d'après VOGT, dans SCHNITZLER-LENOBLE 1989)

FIGURE 4: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
SEDIMENTS PAR LE CUIVRE (Cu)

FIGURE 5: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
SEDIMENTS PAR LE NICKEL (Ni)

FIGURE 6: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
SEDIMENTS PAR LE CHROME (Cr)

FIGURE 7: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
SEDIMENTS PAR LE MERCURE (Hg)

FIGURE 8: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
SEDIMENTS PAR LE CHROME (Cr)

FIGURE 9: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
SEDIMENTS PAR LE MERCURE (Hg)

FIGURE 11: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE CUIVRE (Cu)

FIGURE 12: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE NICKEL (Ni)

FIGURE 13: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE CHROME (Cr)

FIGURE 14: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE MERCURE (Hg)

FIGURE 15: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE CHROME (Cr)

FIGURE 16: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE MERCURE (Hg)

FIGURE 17: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES

BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE PLOMB (Pb)

FIGURE 18: PROFIL LONGITUDINAL DU DEGRE DE POLLUTION DES
BRYOPHYTES AQUATIQUES PAR LE ZINC (Zn)

B I B L I O G R A P H I E

BIBLIOGRAPHIE

AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE 1991: Résultats de la campagne de prélèvement de bryophytes et sédiments (septembre/octobre 1990) dans le Bassin Rhin-Meuse: 4 pp.

AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE 1992: Résultats de la campagne de prélèvement de bryophytes et sédiments (septembre/octobre 1991) dans le Bassin Rhin-Meuse: 3 pp.

AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE 1993: Résultats de la campagne de prélèvement de bryophytes et sédiments (septembre/octobre 1992) dans le Bassin Rhin-Meuse: 5 pp.

AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE 1994: Résultats de la campagne de prélèvement de bryophytes et sédiments (septembre/octobre 1993) dans le Bassin Rhin-Meuse: 6 pp.

BREMOND R. & VUICHARD R. 1973: Les paramètres de la Qualité des Eaux. Ministère de la Protection de la Nature et de l'Environnement. La Documentation Française, Paris: 179 pp.

CARBIENER R. 1978: Etude écologique de la pollution par le mercure du bassin du Rhin en Alsace et de son évolution. 1973-1977. Etablissement Public Régional, Université Louis Pasteur Strasbourg, Région Alsace, Service Régional d'Aménagement des Eaux, Strasbourg et Colmar: 149 pp.

ENCYCLOPEDIE DE L'ALSACE 1982: Vol. 1, Andlau, Edits Publitotal Strasbourg: 201-208.

FÖRSTNER U. & MÜLLER G. 1974: Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung. Springer Verlag, Berlin: 225 pp.

FÖRSTNER U. & WITTMANN G.T.W. 1981: Metal Pollution in the Aquatic Environment. Second revised Edition. Springer Verlag, Berlin: 486 pp.

HAMPE A. 1984: Carte géologique de l'Alsace. Encyclopédie de l'Alsace, Vol 6, Edition Publitotal Strasbourg: 3320-3321.

LANDRAGIN G. 1988: Etude de la qualité des eaux de l'Andlau en 1985. Rapport de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse: 28pp + Annexes.

LINDQVIST O. (Edit.) 1991: Mercury in the Swedish Environment. Recent Research on causes, consequences and corrective Methods. Kluwer Academic Publishers, Netherlands: 261 pp.

MATSCHULLAT J. & WYROBEK M. 1993: Controlled Experimental acidification of lake sediments and resulting trace metal behavior. Water, Air, and Soil Pollution 69: 393-403.

MOUVET C. 1984: Métaux lourds et mousses aquatiques. Spéciation physico-chimique, bioaccumulation et toxicité. Thèse de Doctorat en Sciences botaniques. Université de Liège: 157 pp.

MOUVET C. 1986: Métaux lourds et mousses aquatiques. Synthèse méthodologique. Laboratoire d'écologie. Université de Metz. Agence de l'eau Rhin-Meuse. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse: 74 pp + annexes.

MOUVET C., PATTE E. & CORDEBAR P. 1986: Utilisation des mousses aquatiques pour l'identification et la localisation précise de sources de pollution métallique multiforme. *Acta Oecologica. Oecologia applicata* 7(1): 77-91.

NELSON W.O. & CAMPBELL P.G.C. 1991: The Effects of Acidification on the Geochemistry of Al, Cd, Pb and Hg in Freshwater Environments: A Literature Review. *Environ. Poll.* 71: 91-150.

PICARD 1992: Carte Hydrogéologique du Bassin Rhin-Meuse (échelle 1/500 000). Agence de l'Eau Rhin-Meuse.

RAMADE F. 1981: Ecologie des ressources naturelles. Ecologie appliquée et Sciences de l'Environnement 4, Masson, Paris: 322pp.

ROECK U., EISENBLÄTTER D. & EXINGER A. 1990: Etude du degré de pollution par des micropolluants métalliques et organiques (de synthèse) de rivières en Alsace. Campagne de prélèvements octobre 1989. Laboratoire d'Hydrologie, Faculté de Pharmacie, Université Louis Pasteur Strasbourg: 49 pp + Annexes.

ROECK U. & EXINGER A. 1994: La Contamination de l'Andlau par des Métaux Lourds. Etat des connaissances sur la contamination métallique de la rivière. Rapport, 1^{ère} Phase. Laboratoire d'Hydrologie, Faculté de Pharmacie, Université Louis Pasteur Strasbourg: 13 pp + Annexes.

SCHNITZLER-LENOBLE A. 1989: Le Ried de l'Andlau. 7000 ans d'histoire naturelle et humaine aux portes de Strasbourg. Société Savante d'Alsace et des Régions de l'Est. Collection Mémoires et Documents tome XXXXI, Dépôt vente: Librairie Oberlin, 17, rue des Francs Bourgeois, 67000 Strasbourg: 111 pp.

SDEA (**SERVICE DES EAUX ET DE L'ASSAINISSEMENT DU BAS-RHIN**) 1991: Rapport d'Activité. Service d'assistance aux exploitants de Stations d'Epuración du Bas-Rhin (SATESE): 329 pp.

SGAL - AFBRM (**SERVICE GEOLOGIQUE D'ALSACE - AGENCE FINANCIERE DU BASSIN RHIN-MEUSE**) 1984: Analyse des métaux lourds dans les eaux superficielles eau - sédiment, rivières du bassin Rhin-Meuse. Agence de l'eau Rhin-Meuse, Moulins-les-Metz: 145pp.

VOGT H. 1978: Agencements des unités géomorphologiques entre le Rhin et les Vosges à hauteur de Strasbourg. *Rech.géog.à Strasbourg* 7: 3-16.

VOGT H. 1992: Le Relief en Alsace. Etude Géomorphologique du Rebord Sud-Occidental du Fossé Rhénan. Oberlin, Strasbourg: 239 pp.

