

EVOLUTION TEMPORELLE DE LA CONTAMINATION METALLIQUE DANS LE BASSIN DE LA SEINE

Michel Meybeck

CNRS/UPMC

UMR Sisyphe-Paris 6



Faculté des arts et des sciences
Département de sciences biologiques



Le bassin de la Seine (65000 km², 15 millions habitants, 40% industrie française) est soumis à une très forte pression anthropique.

Quelle a été l'évolution à long terme de la contamination métallique et comment celle-ci a-t-elle été prise en compte par la société de 1935 à 2000?

Etude pluridisciplinaire du programme Piren-Seine depuis 1989



Evolution des usages des métaux dans le bassin

Surveillance des teneurs en métaux dans le milieu aquatique et le bassin

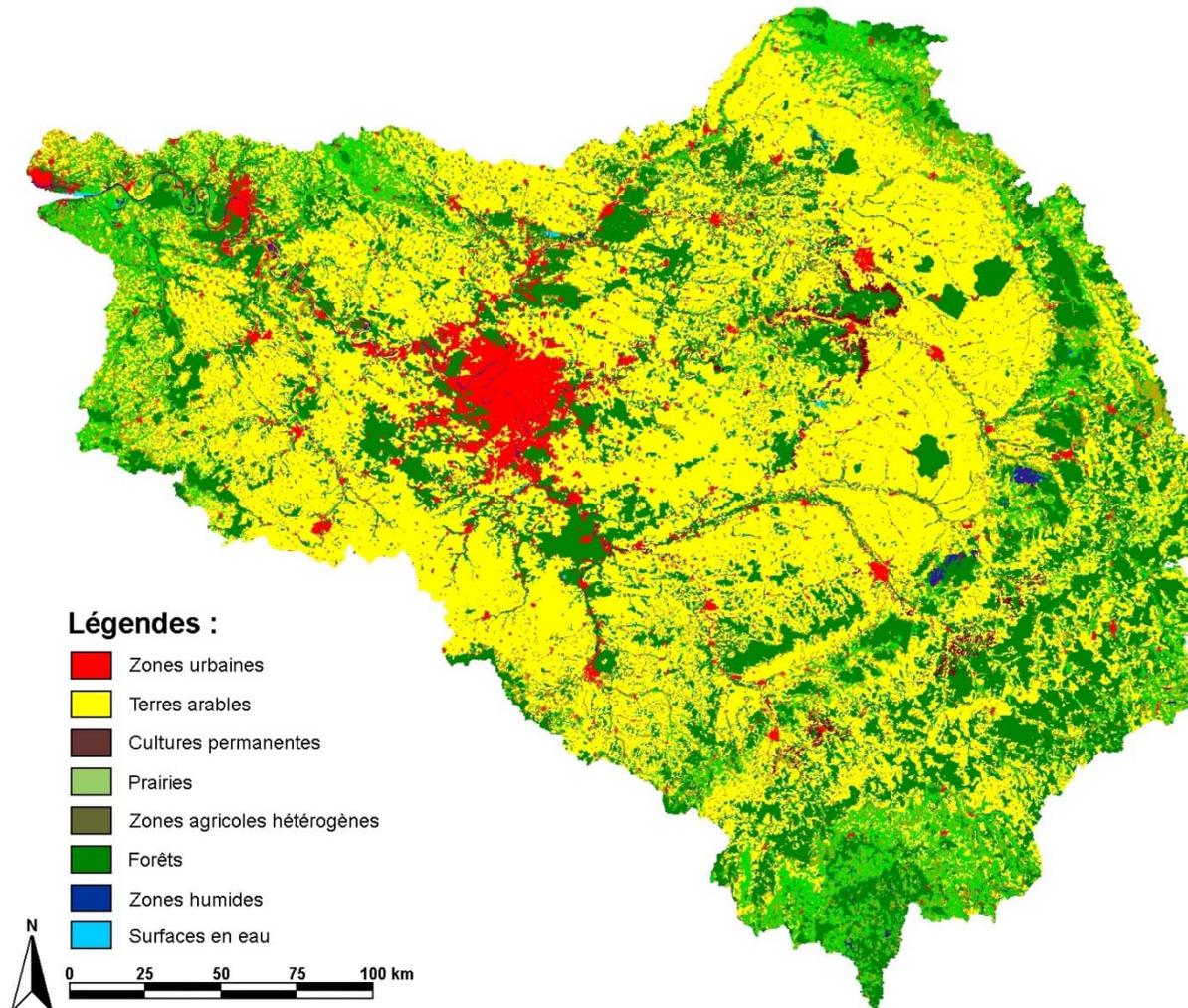
Diagnostic de contamination: Seine vs Rhône

Réponses sociétales

Analyse de la performance environnementale de la société



LE BASSIN DE LA SEINE

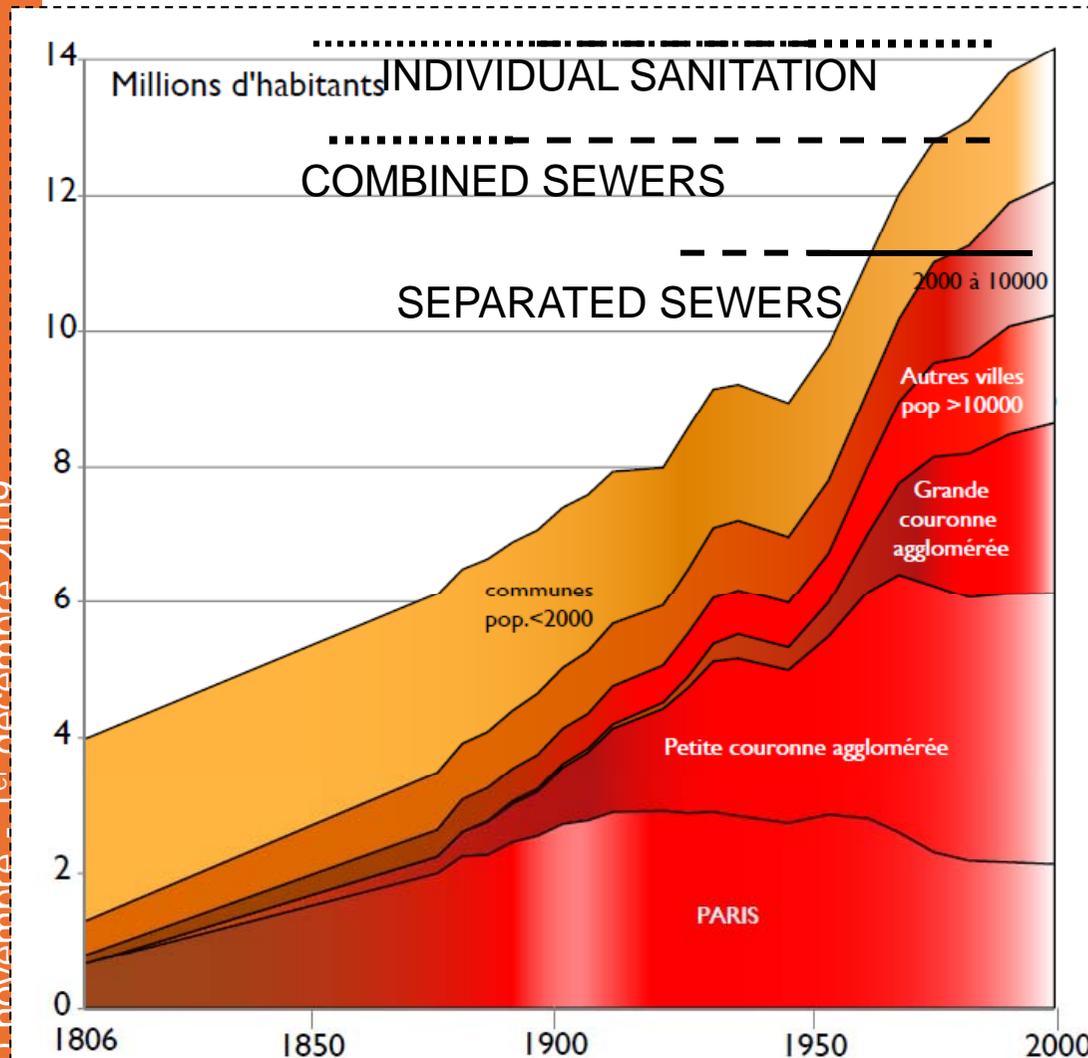


■ Urbanized area (red) and arable land (yellow) are the two major features





EVOLUTION OF THE SEINE BASIN POPULATION AND ITS SANITATION (1806-2000)



In 100 y population increased from 6 million –untreated– to 14 million with 90% treatment rate.

Various types of sanitation have been installed

Recent decades present an acceleration of population and of sanitation

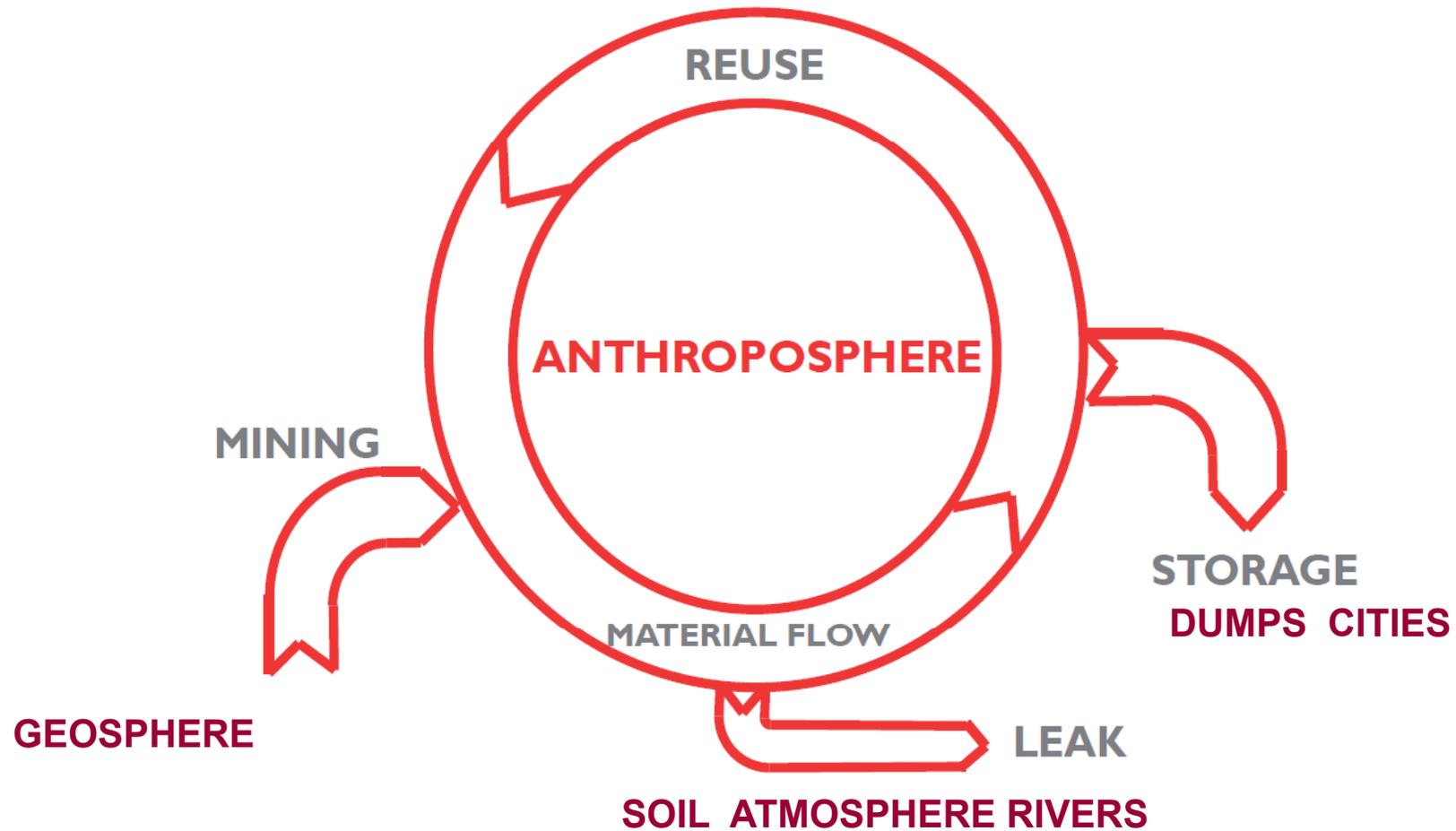
INDUSTRIES A ISSY ,1930s



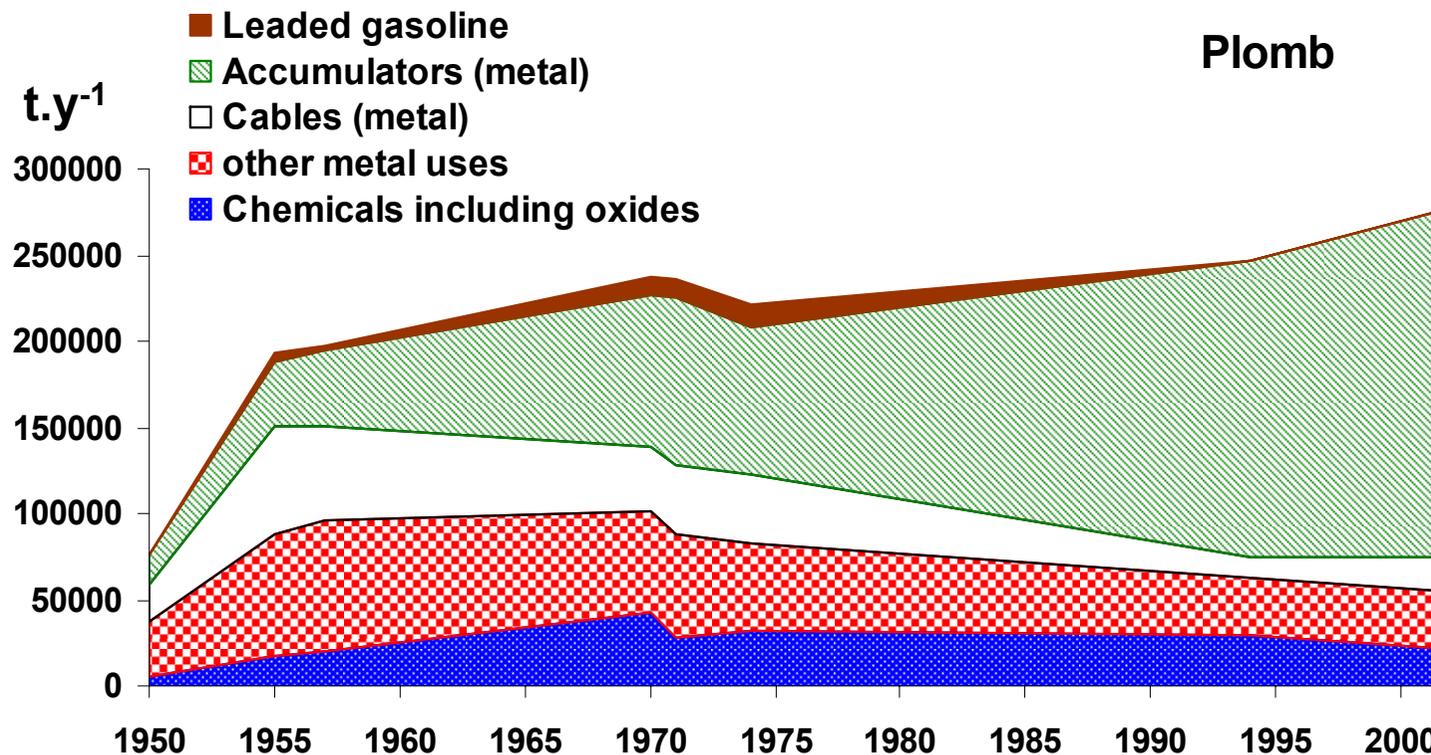
22^e Entretiens du Centre Jacques Cartier - Lyon, France
30 novembre - 1^{er} décembre 2009



SCHEMA DE LA CIRCULATION DES ELEMENTS DANS L'ANTHROPOSPHERE

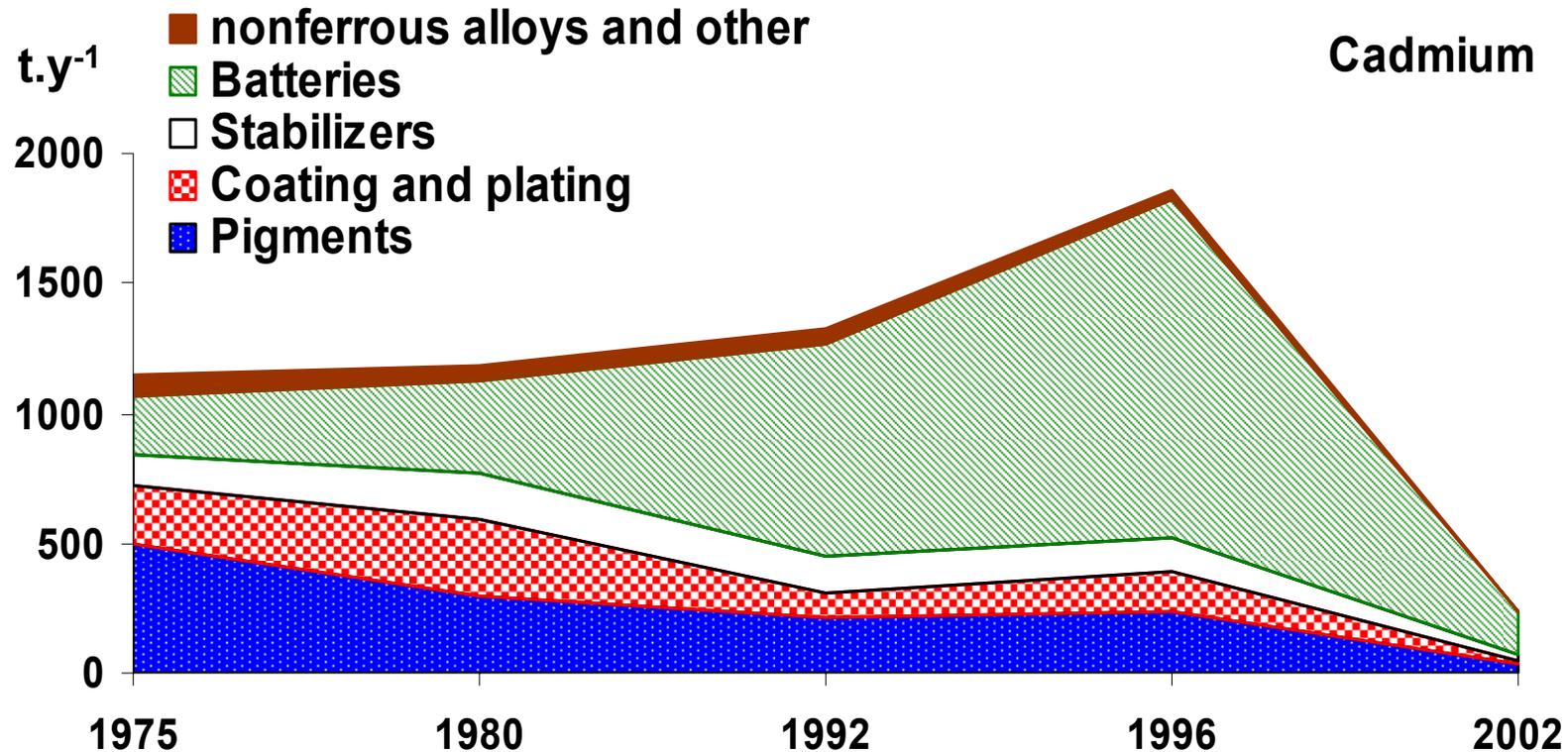


DRIVERS – USAGE DU PLOMB EN FRANCE (1950-2000)



- Les usages ont beaucoup varié depuis 1950
- Les accus au plomb (très largement recyclés) sont l'usage principal depuis 40 ans

DRIVERS – USAGE DU CADMIUM EN FRANCE (1975-2000)

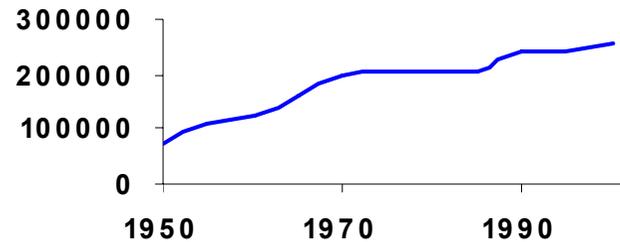


- Les usages industriels (traitement de surface, peintures..) ont beaucoup chutés
- Les piles au Cd sont dominantes de 1985 à 2003

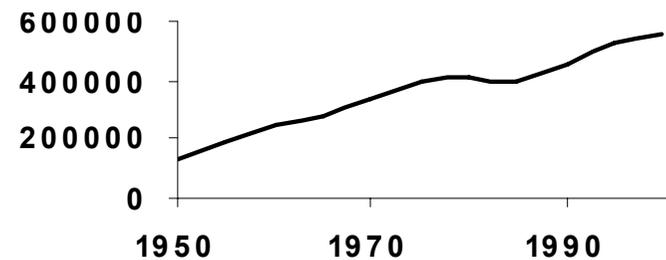
DRIVERS - EVOLUTION DE LA DEMANDE ANNUELLE EN METAUX EN FRANCE (t.y⁻¹)

Lestel, 2005 (Piren-Seine)

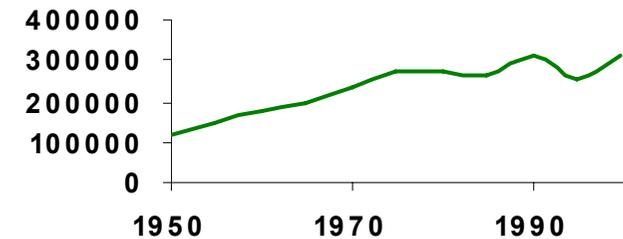
Pb



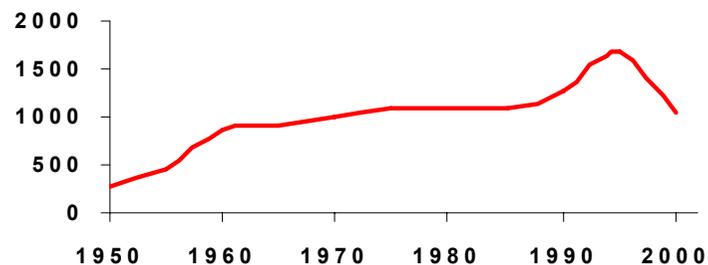
Cu



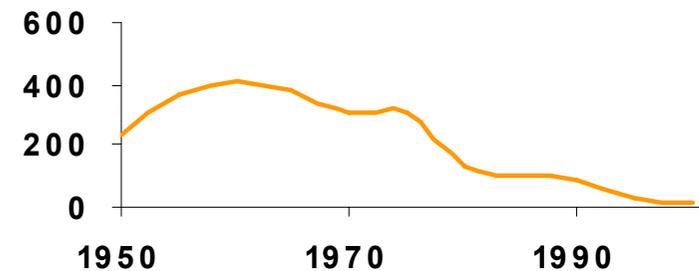
Zn



Cd



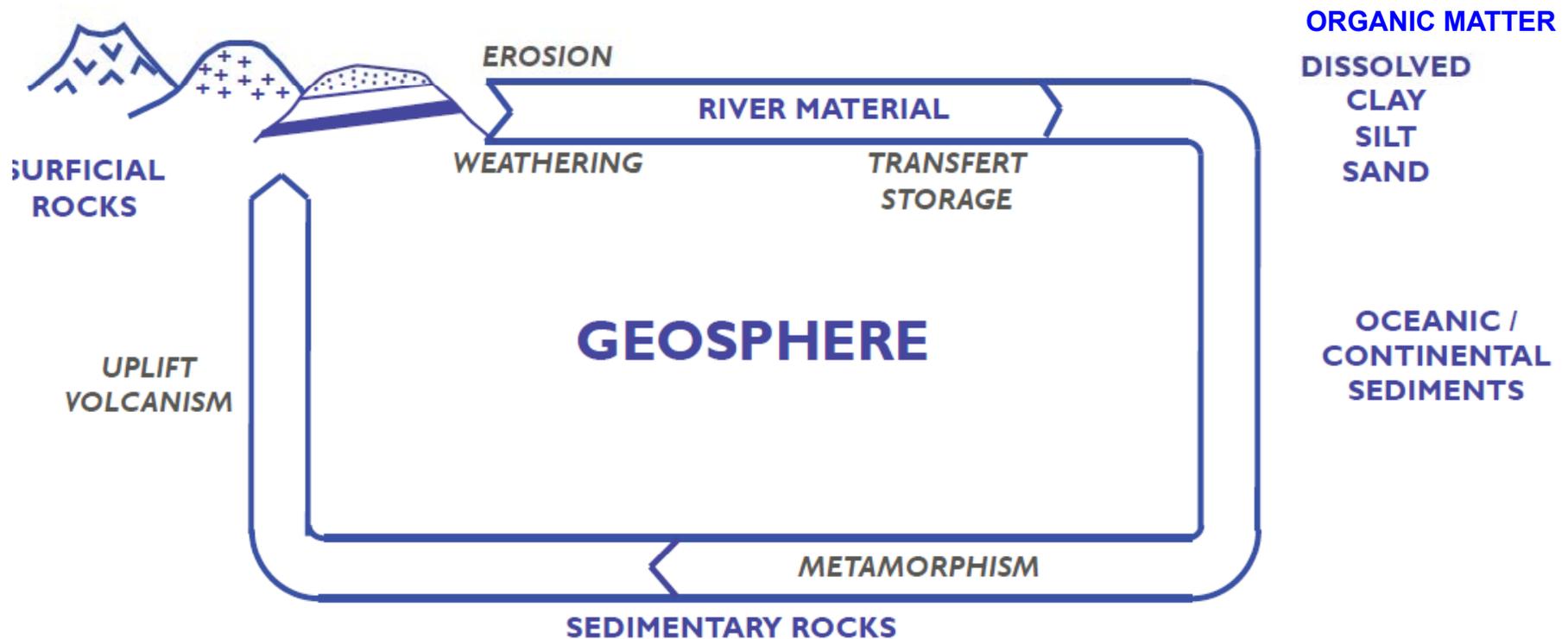
Hg



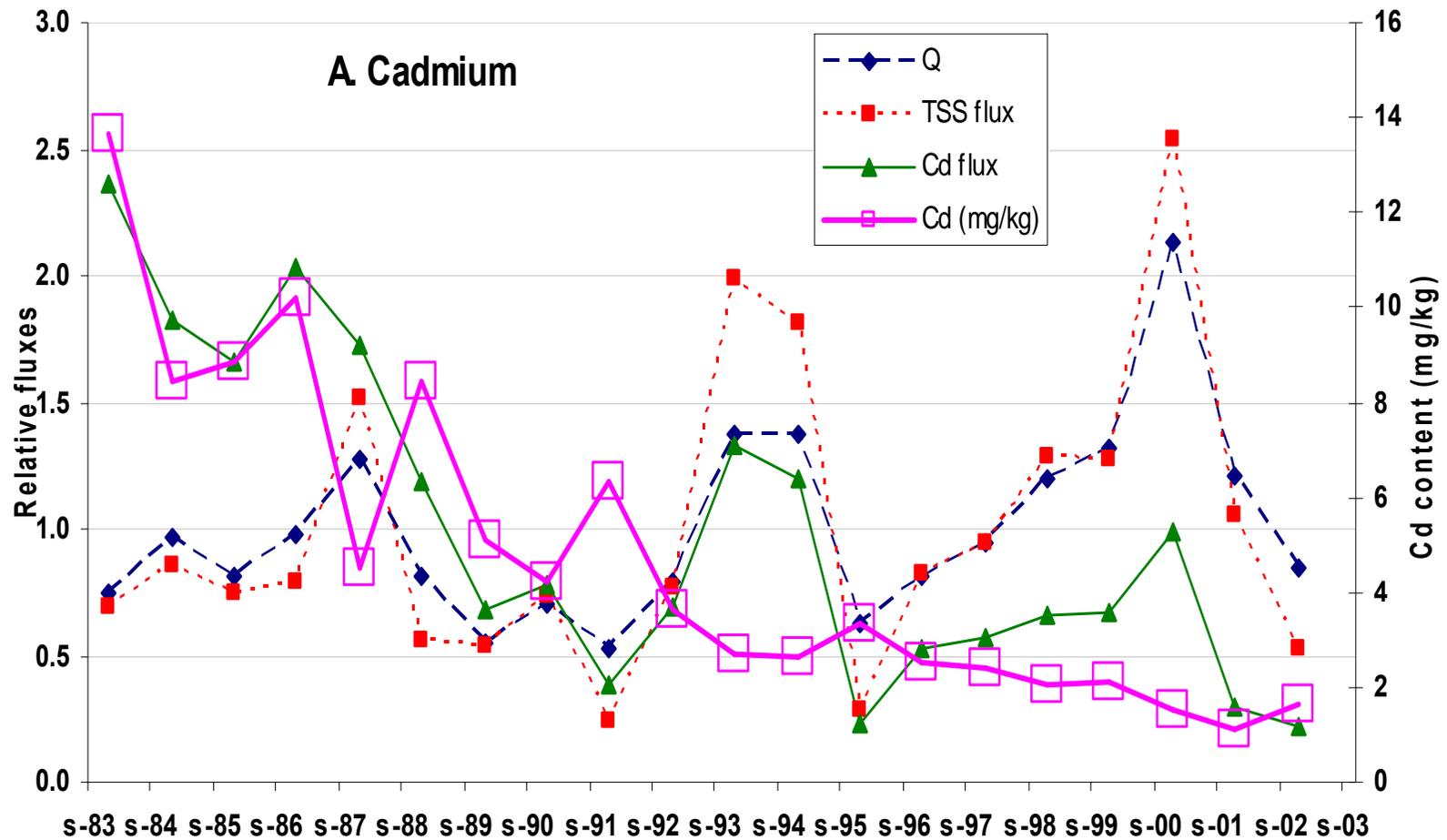
- La demande en métaux s'accroît de 1950 à 2000 sauf pour Hg (diminution par 40) et Cd (récente diminution due à la régulation des piles au Cd)



SCHEMA DE LA CIRCULATION DES ELEMENTS DANS LE SYSTEME TERRE VUE PAR LES GEOCHIMISTES



Variation des teneurs annuelles en Cd à l'aval de Paris (1983-2003)

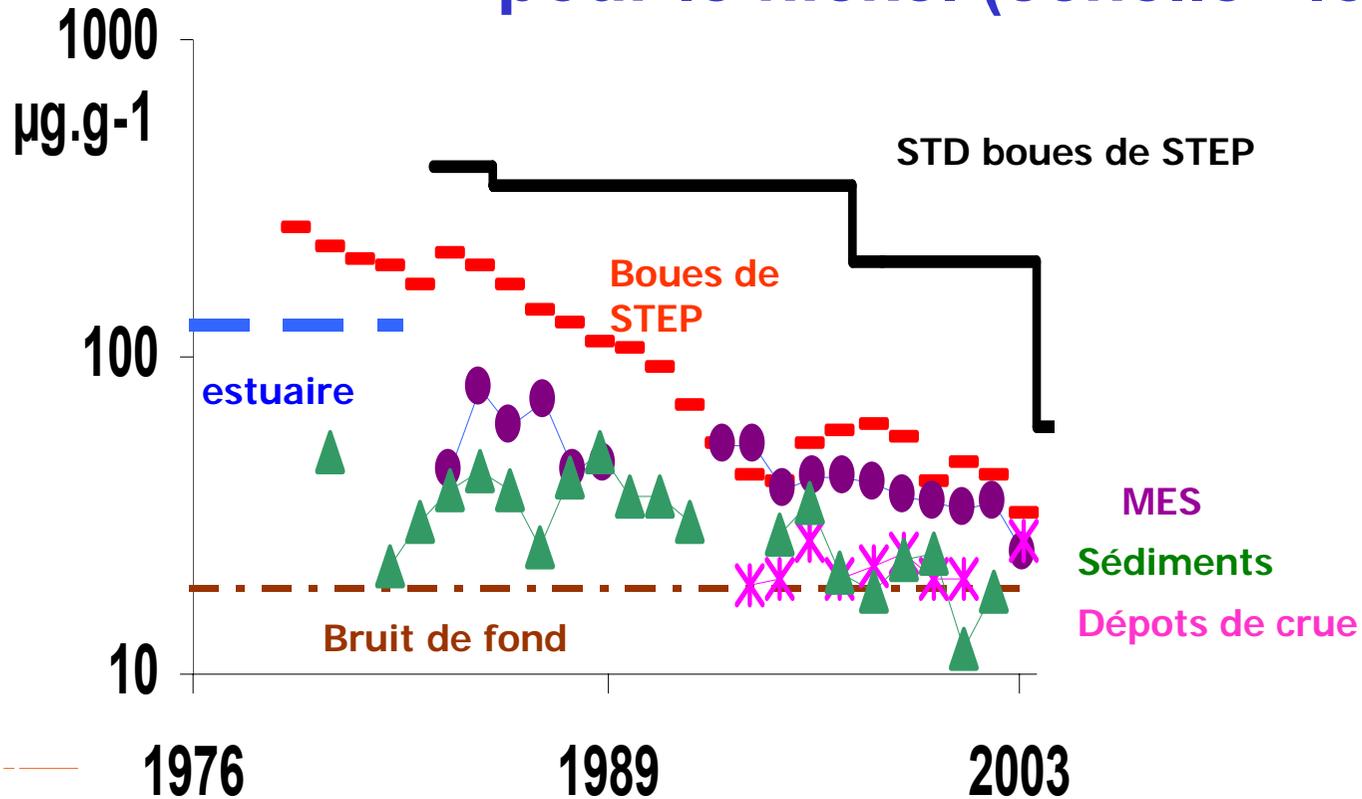


Les teneurs sont en décroissance marquée

Les flux annuels dépendent des debits solides



Surveillance de la contamination du bassin pour le nickel (echelle -log)



22^e Entretien
30 novembre

■ La surveillance du milieu commence vers 1980

■ La décroissance des teneurs est observée dans tous les supports



COMPORTEMENTS COMPARES DES METAUX DANS LA SEINE ET LE RHONE

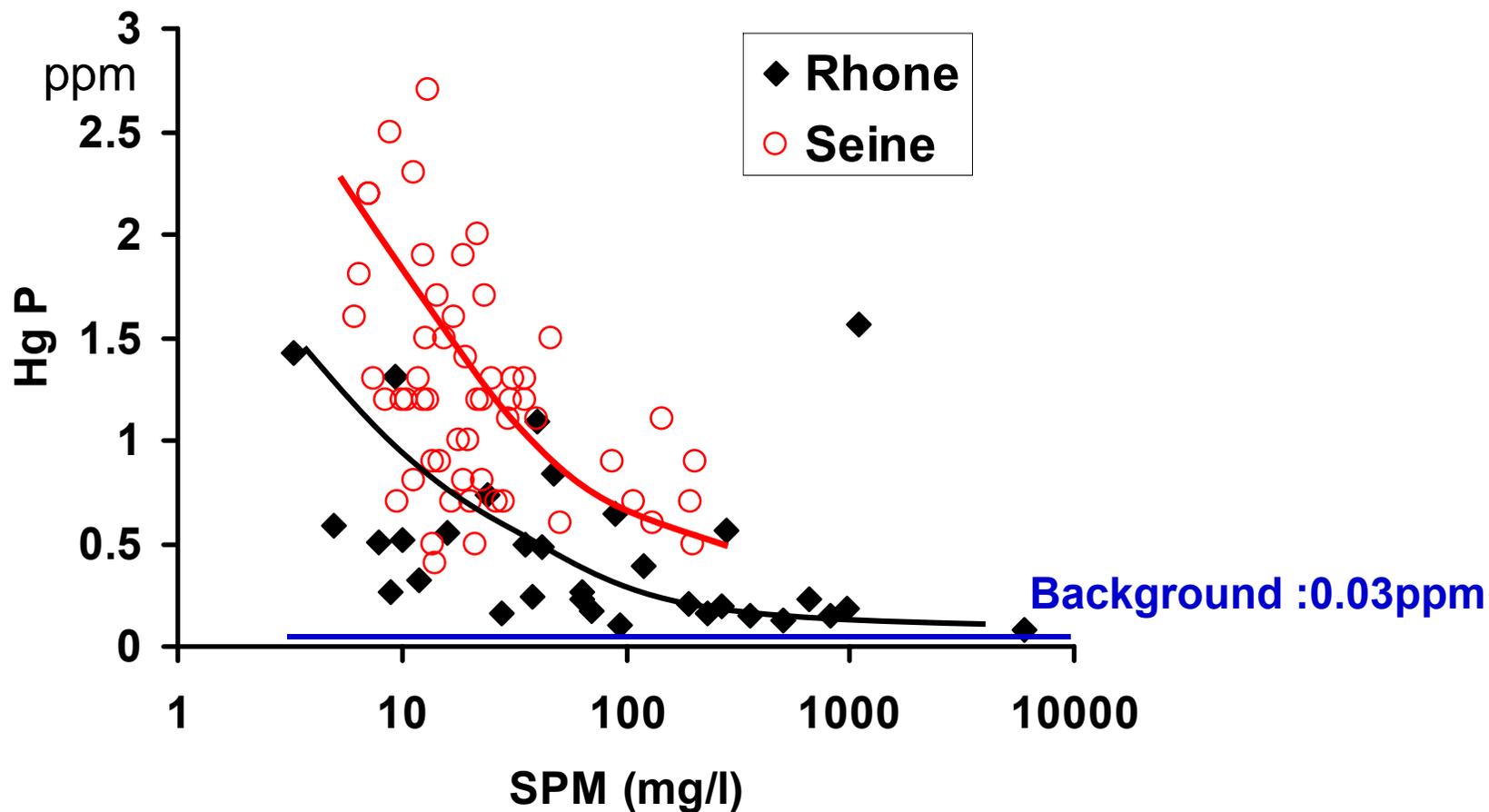
SEINE:etude pilote Ifremer 1992/93(D Cossa et al)

RHONE:etude pilote 1994/95 AERMC (D Pont,A Thomas et al)



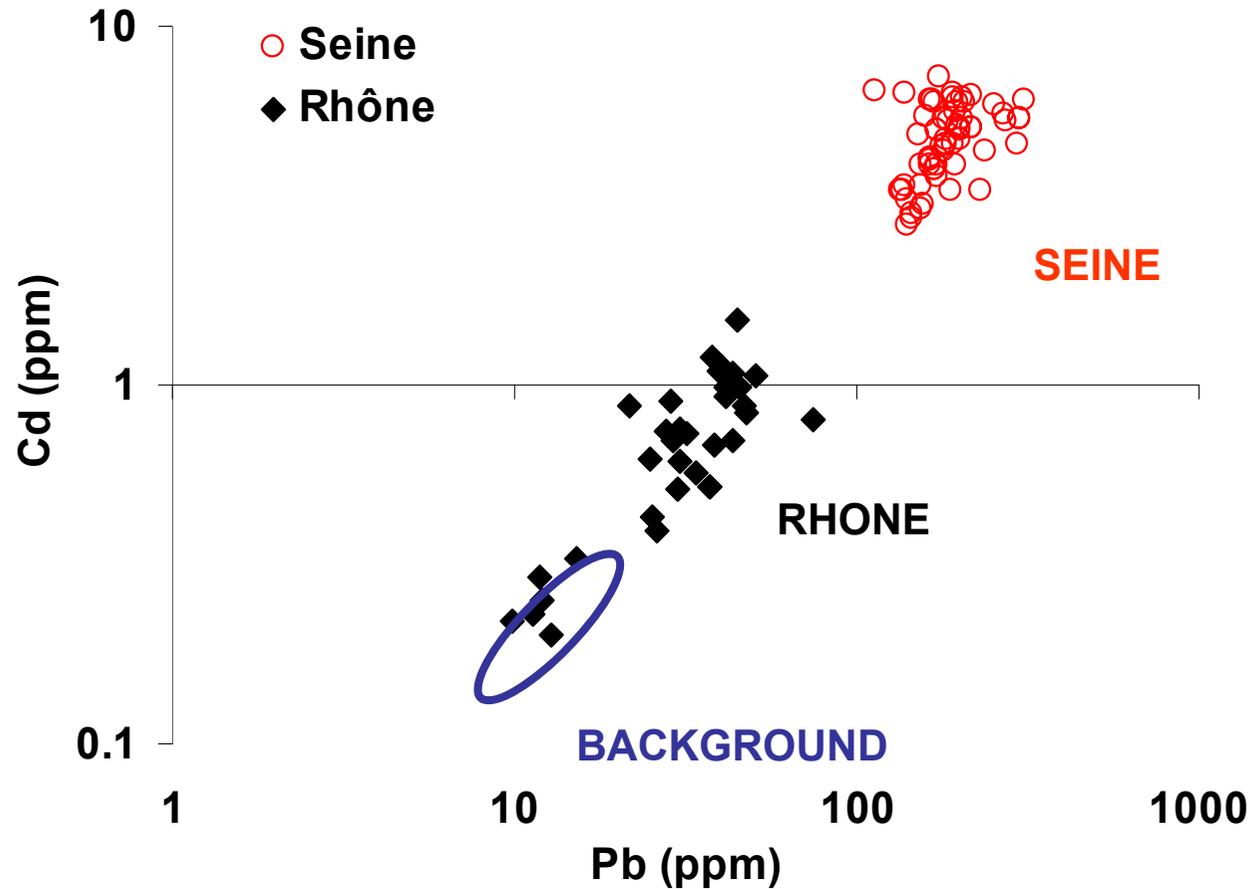
DILUTION DES SOURCES PONCTUELLES DE CONTAMINATION

Hg vs MES



Les deux fleuves sont soumis à des pollutions[^]ponctuelles ,mais la capacité de dilution par des MES détriques est bien supérieure dans le Rhône

SEINE et RHONE : cadmium vs plomb



La contamination induit des corrélations marquées entre les éléments, souvent plus fortes que les corrélations naturelles



REPONSE SOCIETALE

Avant 1970 les techniques d'analyses ne permettaient pas la surveillance des métaux dans le milieu aquatique

La surveillance régulière ne s'est établie que dans les années 1980

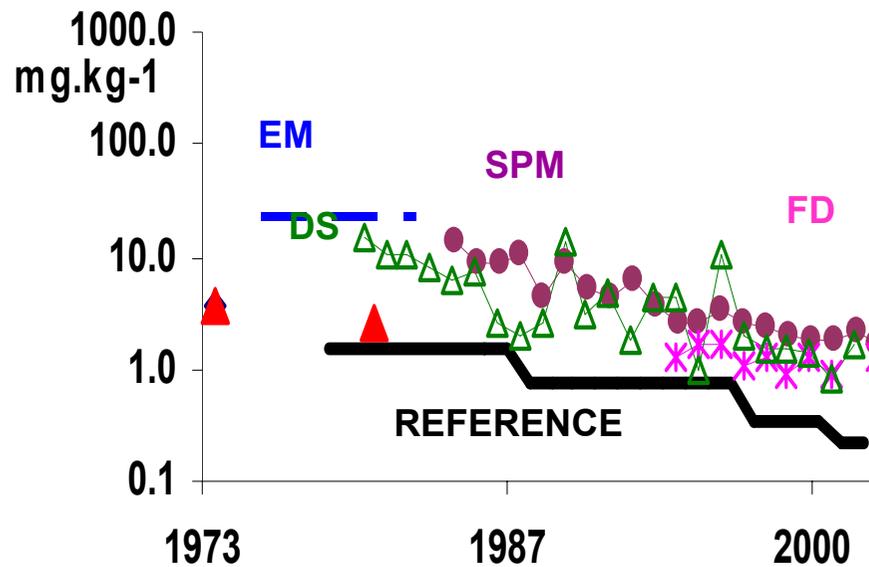
Les critères de contamination ont constamment changés depuis 30 ans(ex bruit de fond naturel,normes de rejets, echelles de contamination)

Dès 1960 les industriels ont graduellement changé leurs procédés et recyclé les métaux(ex accus), précédant souvent la réglementation

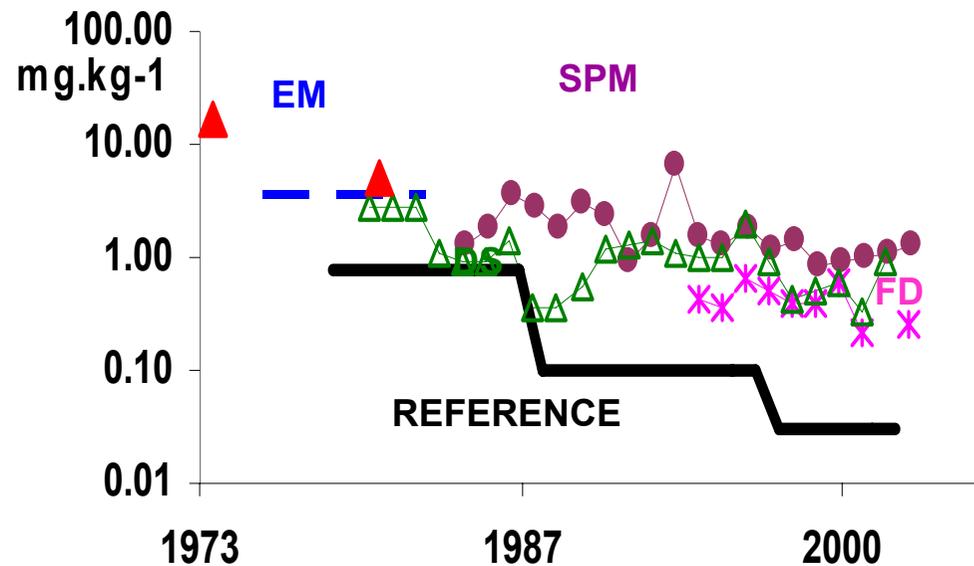
Cette histoire complexe peut être déchiffrée dans les archives sédimentaires de 1935 à 2000

INCERTITUDE SUR LE NIVEAU DE REFERENCE DES METAUX DANS LA SEINE; cadmium et mercure dans les publications scientifiques

Cadmium



Mercury

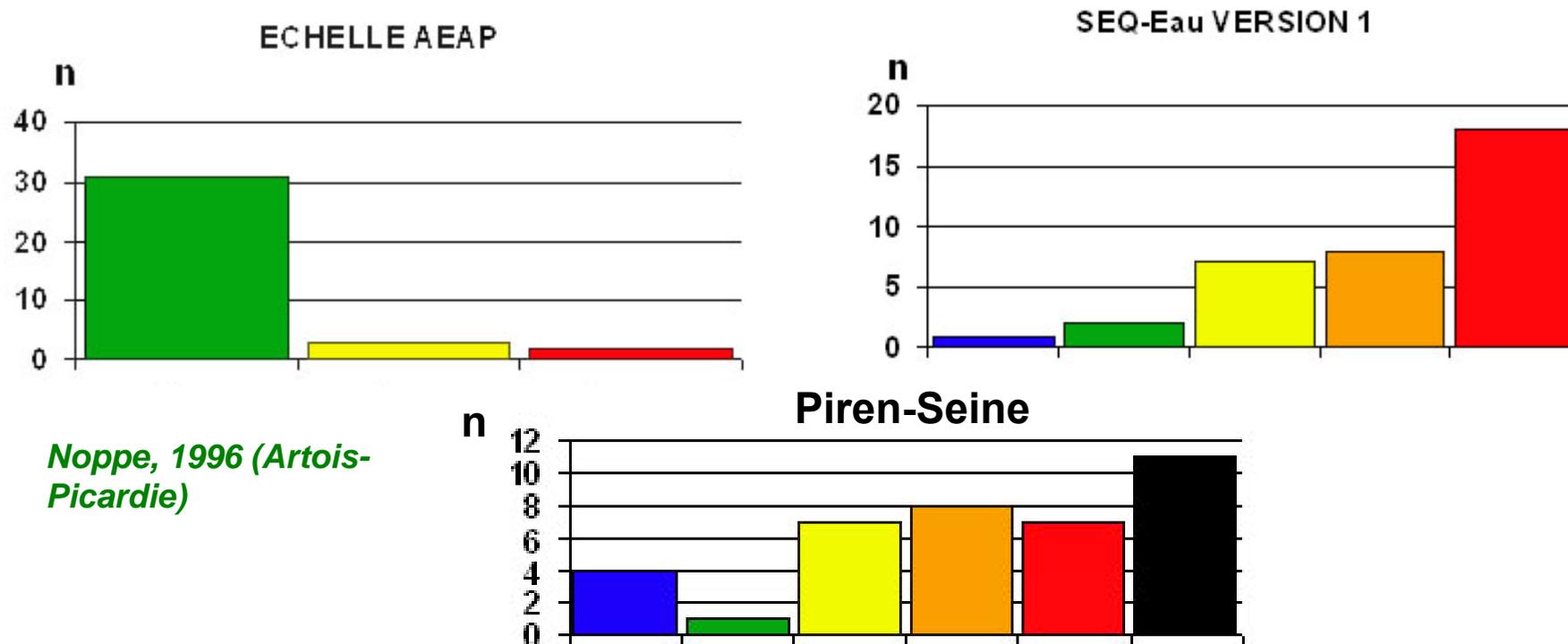


22^e Entretiens
30 novembre

Pour Cd et Hg, très difficiles à mesurer, les références (bruit de fond pré-anthropique) ont diminué d'un facteur 10 depuis 1973



INCERTITUDE DE DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL POUR LES METAUX Contamination du Plomb en Artois –Picardie pour 1990's

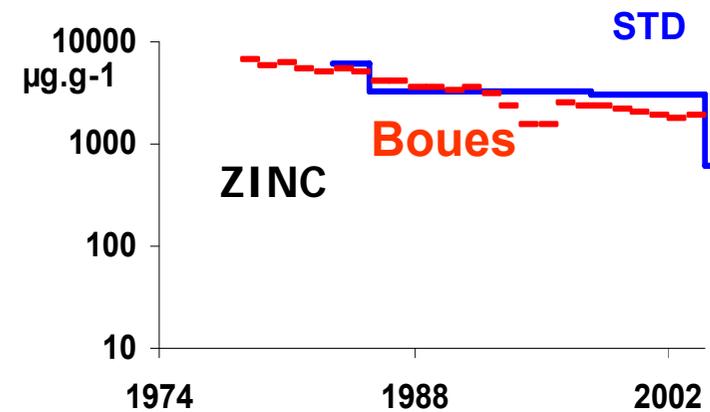
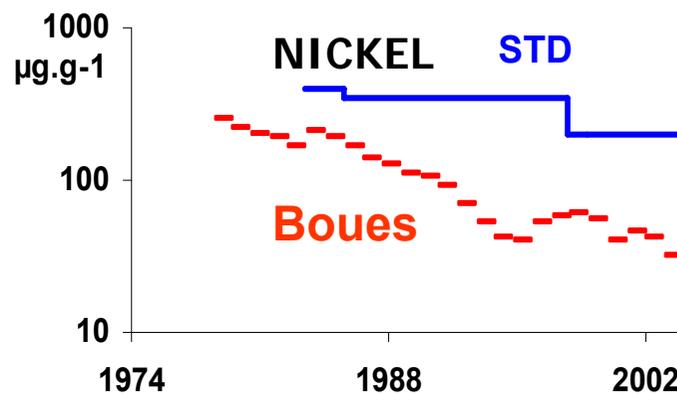
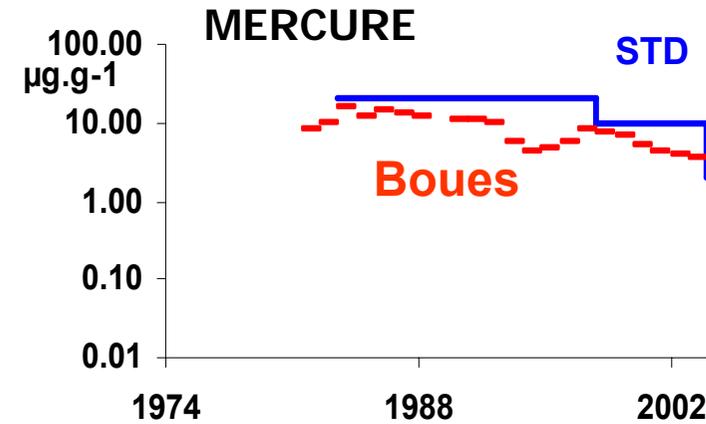
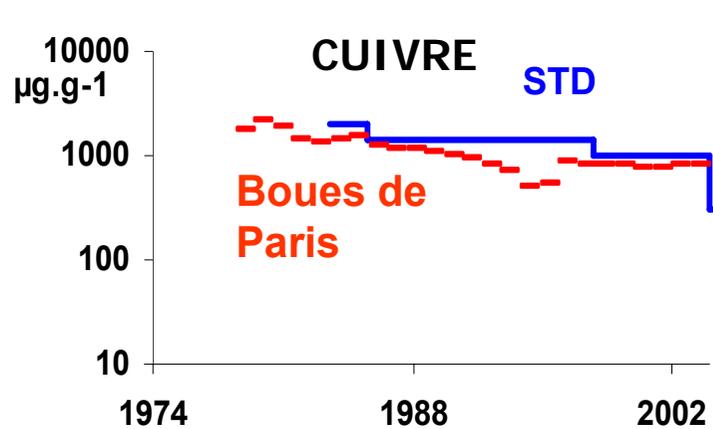


Noppe, 1996 (Artois-Picardie)

- L'échelle intrinsèque proposée par Artois Picardie était très optimiste
- Le SEQ-Eau de 1995 donne une vision opposée
- L'échelle de contamination relative (facteurs d'enrichissement utilisée par le Piren-Seine et dérivée du SEQ –Eau) rajoute deux classes pour disposer d'une échelle régulière et pour prendre en compte les pollutions extrêmes



EVOLUTION DES NORMES POUR L'EPANDAGE DES BOUES URBAINES A DES FINS AGRICOLES(ech. log)



■ Depuis 1979 la décontamination des boues de Paris(SIAAP) est *SIAAP in Meybeck et al., 2005 (Piren-Seine)* exponentielle

■ Cette décroissance est la plus marquée pour $Cd \geq Ni > Pb = Cu = Zn \geq Hg$

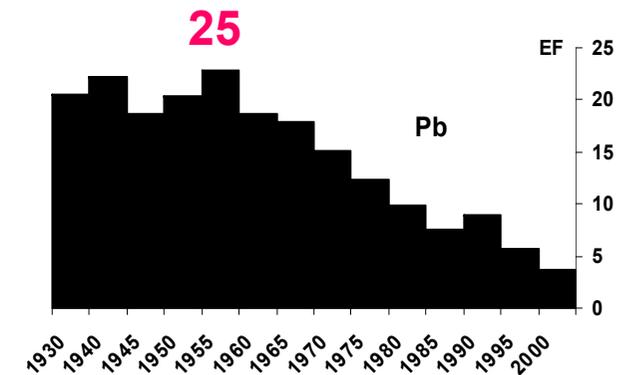
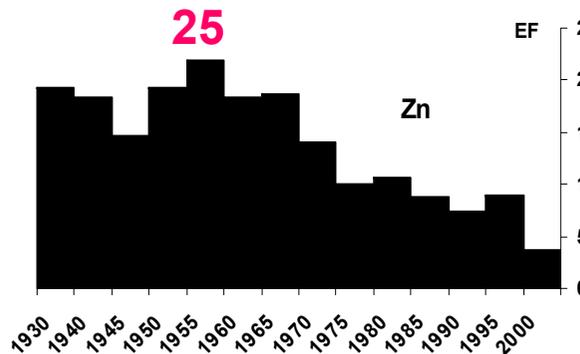
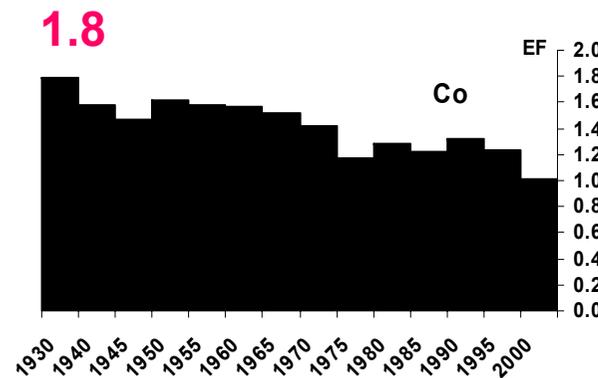
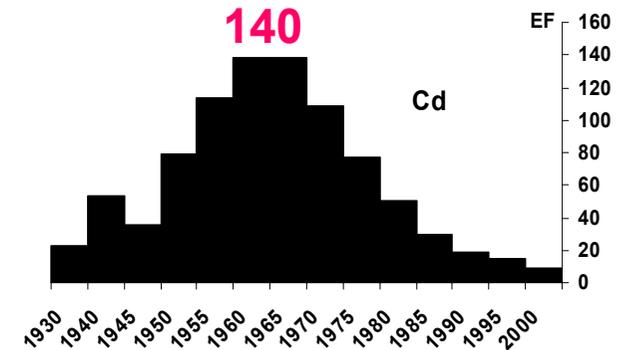
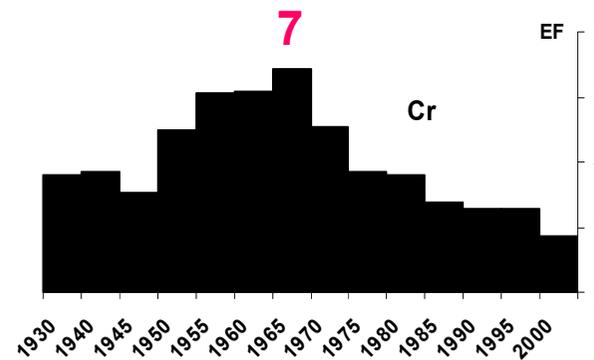
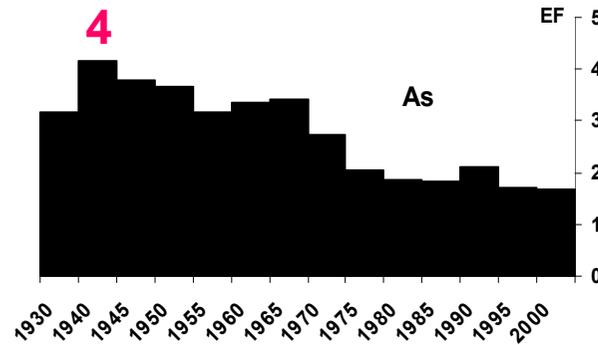


ARCHIVES SEDIMENTAIRES

Elles sont établies sur des carottes de sédiment (lacs, réservoirs, deltas, plaine alluviales), datées

- Elles permettent la reconstruction des contaminations, moyennant des corrections pour s'affranchir des variations de milieu fluvial (dilution par les sables etc)
- La comparaison des profils permet aussi de comparer les trajectoires de contamination très différenciées entre les fleuves et entre les contaminants
- Cette approche est indispensable pour étudier les micropolluants (métaux, PCBs, HAPs) qui ne sont mesurés que dans les dernières années alors que les périodes de contamination s'étendent sur des décennies et plus.

ARCHIVES SEDIMENTAIRES DE LA CONTAMINATION (facteurs d'enrichissement à Poses)

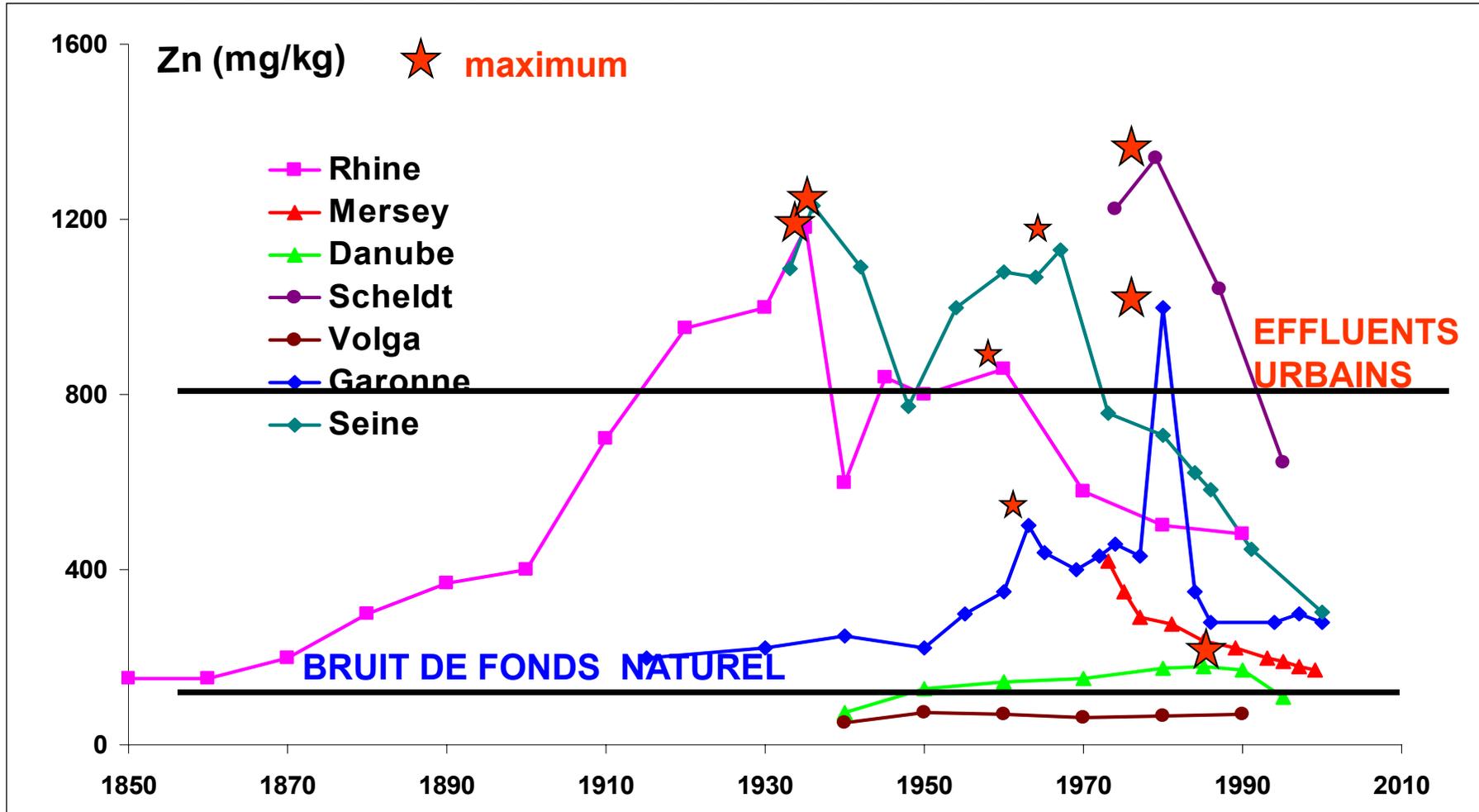


■ La décontamination est générale mais pas synchrone

■ La contamination maximale est très variable:

Cd = Hg ≥ Pb = Zn > Cu = Cr = Ni > As > Co

EVOLUTION DE LA CONTAMINATION DANS LES FLEUVES EUROPEENS D'APRES LES ARCHIVES SEDIMENTAIRES:ZINC



**DANS TOUS CES BASSINS LA DECONTAMINATION EST REELLE MAIS
ELLE S'EST EFFECTUEE A DES EPOQUES DIFFERENTES**



LES INDICATEURS DE PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE

Ils sont établis par rapport à l'efficacité de la société à minorer ses impacts et non pas sur des indicateurs de contamination du milieu qui dépendent des conditions naturelles (ex. avantage du Rhône sur la Seine pour la dilution des rejets ponctuels)

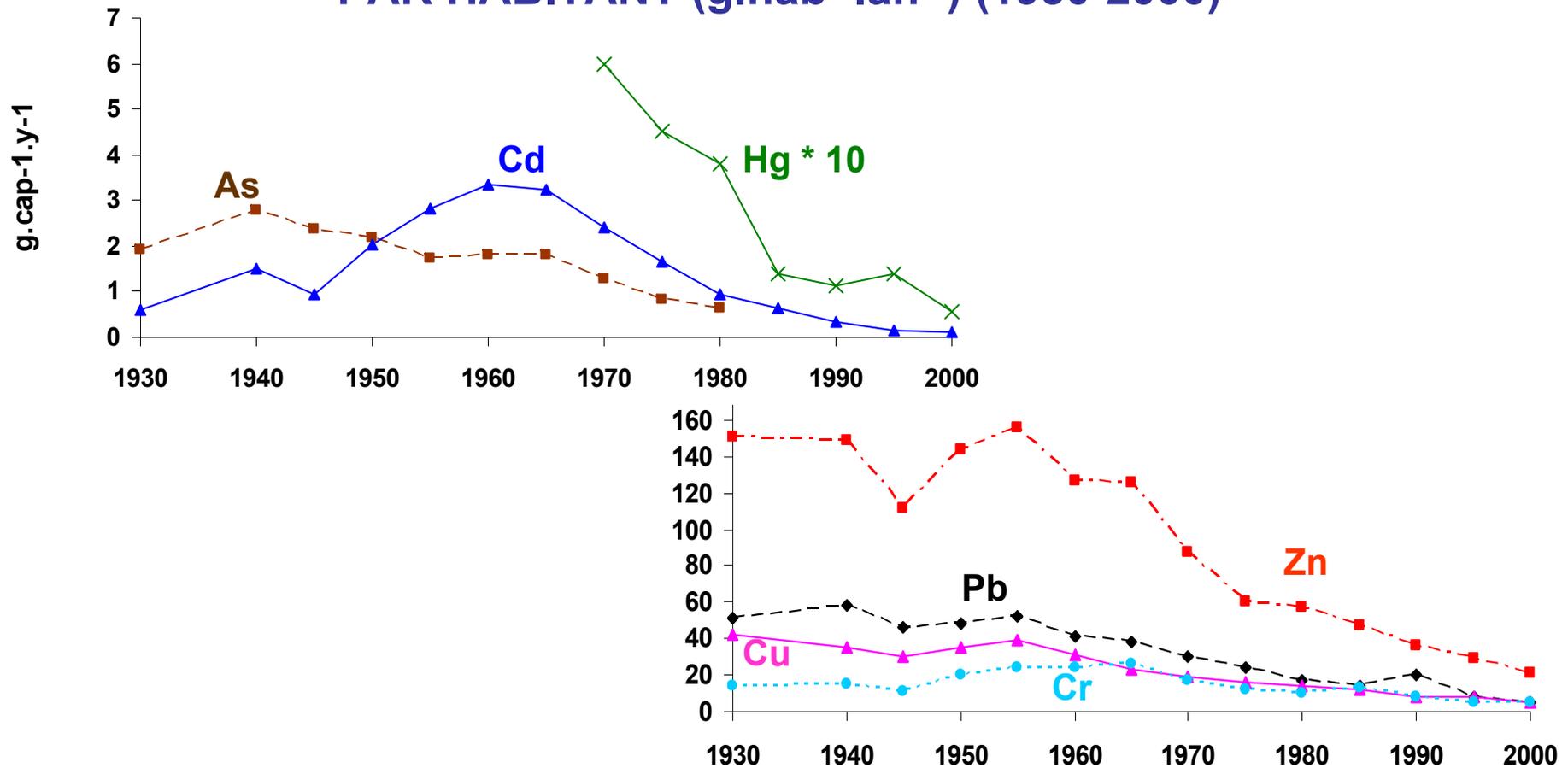
Un premier indicateur tient compte de la population:

Excès de matériaux transportés par les fleuves par habitants

Le deuxième prend en compte l'usage effectif du polluant, ici les métaux, sur le bassin et le compare au flux en excès mesuré dans la rivière

Taux de fuite de l'anthroposystème ,exprimé en %

EXPORTATION DE METAUX EN EXCES PAR LA SEINE EXPRIME PAR HABITANT (g.hab⁻¹.an⁻¹) (1930-2000)

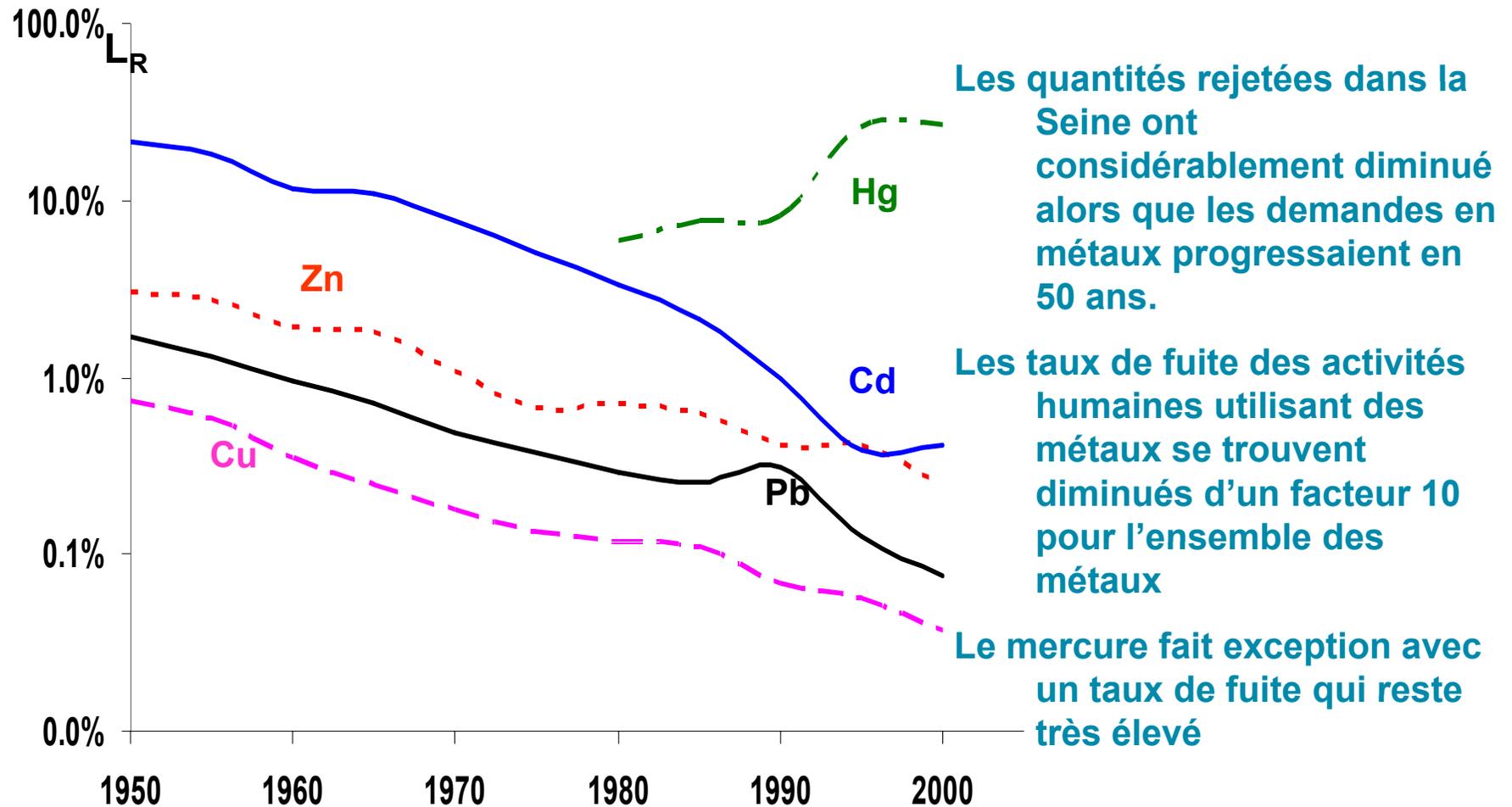


- Les « fuites » par habitant sont très variables suivant les époques et les métaux
- Elles sont toutes en décroissance nettes et inférieures en 2000 à 1930



FUITES DE METAUX DANS LA SEINE à POSES:1950-2000

En pourcent de leur utilisation dans le bassin ; échelle logarithmique



Cette évolution est confirmée par le suivi des boues de STEP depuis 1979 par le SIAAP

CONCLUSIONS

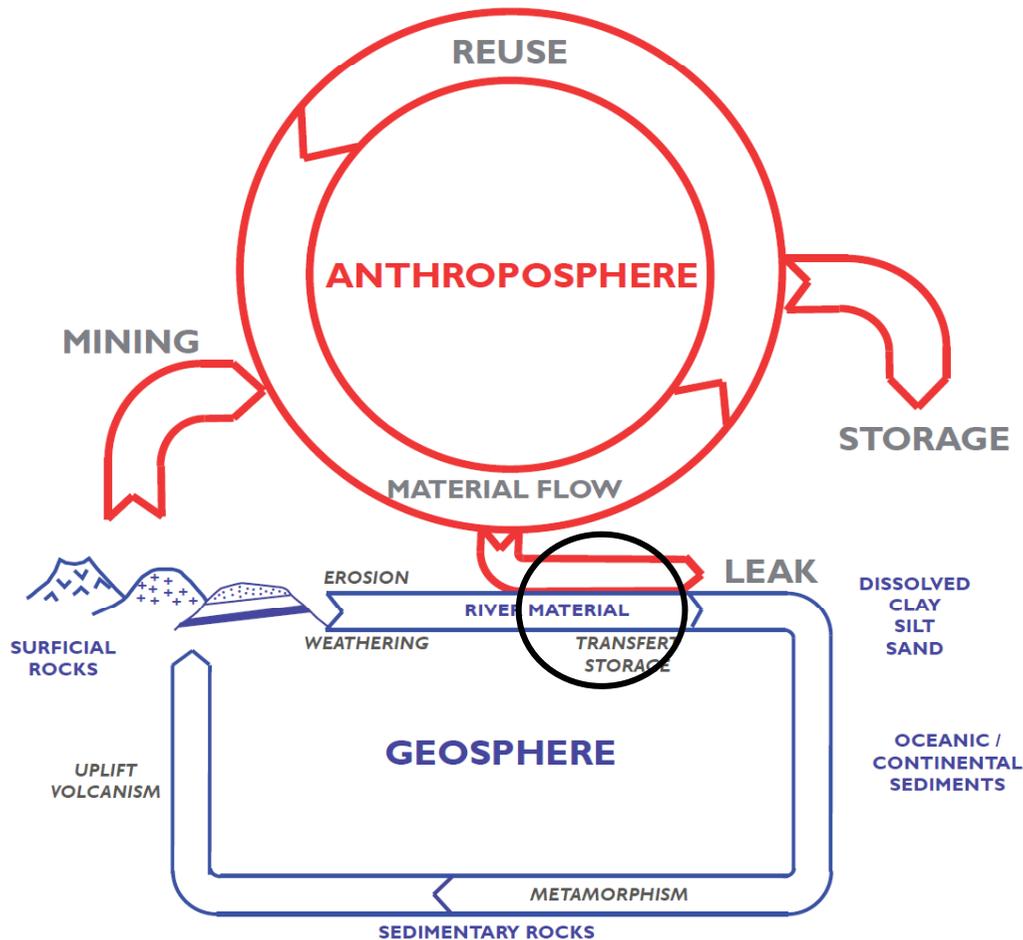
La contamination métallique des systèmes fluviaux ne peut s'étudier que par des approches interdisciplinaires et sur le long terme (>50 ans), pour prendre en compte la temporalité des milieux et des sociétés.

Dans la Seine cette histoire couplée met en évidence une reconnaissance de la contamination depuis 30 ans seulement alors que celle –ci est maintenant avérée sur plus de 80 ans

Les outils pour établir un diagnostic environnemental de la contamination en micropolluants se mettent seulement en place

Ce décalage temporel est à l'origine d'une contamination extrême en 1960 dont les héritages multiples (sols et sédiments contaminés) vont encore perdurer longtemps

CIRCULATION DES ELEMENTS A LA SURFACE DU GLOBE A L'ANTHROPOCENE



POUR DE NOMBREUX ELEMENTS: C, P, N, Na, Cl, S, Hg, Cd, LES FUITES DANS L'ENVIRONNEMENT (EAU, AIR) EXCEDENT DEJA LES FLUX NATURELS A L'ECHELLE GLOBALE : C'EST L'ANTHROPOCENE (CRUTZEN 2002)

LES QUANTITES STOCKEES A LA SURFACE DE LA TERRE SONT CONSIDERABLES : L'AVENIR DEPENDRA AUSSI DE CES STOCKS

