



# COMPORTEMENT ET TOXICITÉ DES POLLUANTS

## GUIDE « COMPORTEMENT DES POLLUANTS » EXEMPLE D'UNE FICHE MONOGRAPHIQUE

**Daniel Hubé**

1<sup>er</sup> décembre 2022



  
MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE  
ET DE LA COHÉSION  
DES TERRITOIRES  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**INERIS**  
*maîtriser le risque  
pour un développement durable*

 Géosciences pour une Terre durable  
**brgm**

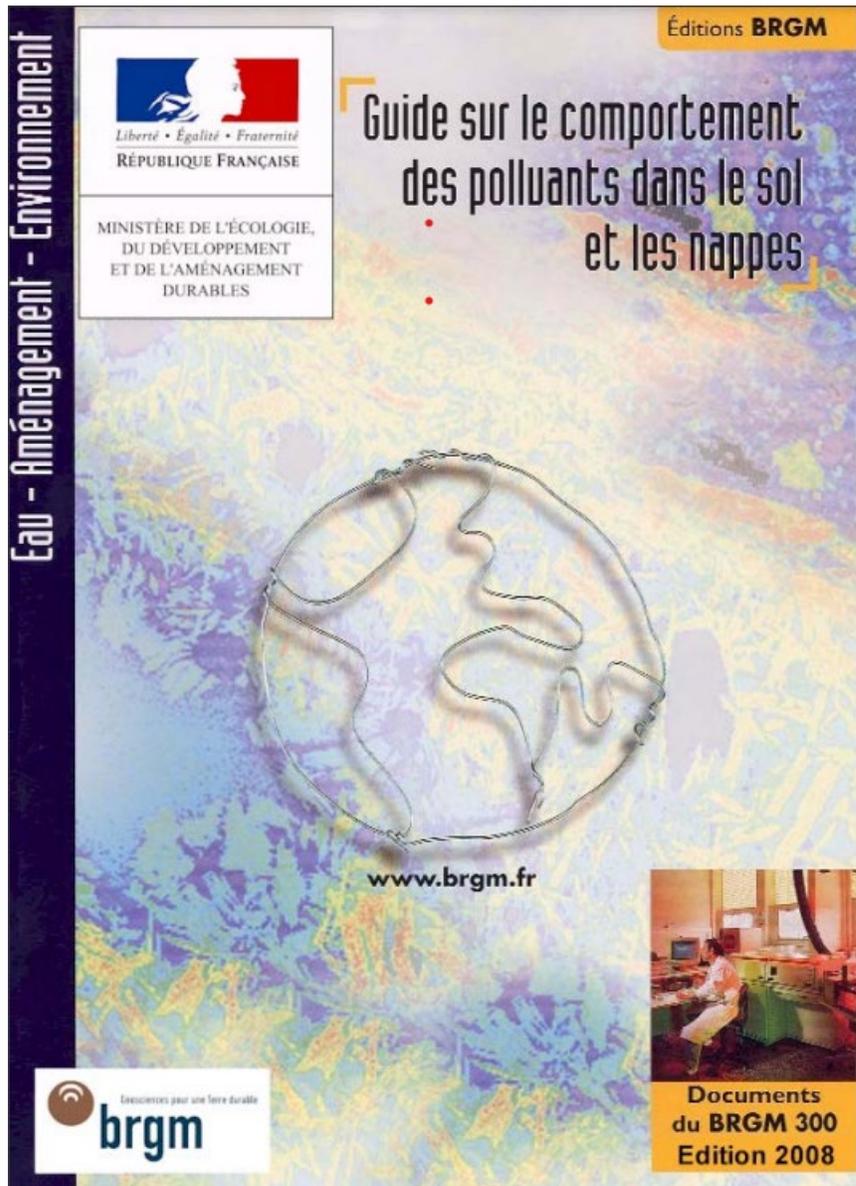
# Compréhension de la dynamique spatiale et temporelle des polluants: un incontournable de tout bon processus de gestion des pollutions



*« Comprends déjà comment le polluant est descendu, c'est possiblement par le même chemin que tu vas le faire ressortir »*

Comprendre le comportement de substances et éléments polluants dans le milieu souterrain c'est savoir comment les **localiser, les caractériser, voir en quoi ils posent ou non préjudices et/ou nuisances** à des biens à préserver (et en premier lieu la santé humaine), puis le cas échéant, **identifier et mettre en œuvre les moyens nécessaires afin de rendre les milieux marqués compatibles avec les usages actuels et/ou futurs.**

Connaissance primordiale et un pré requis incontournable de tout processus de gestion d'une pollution, **du diagnostic à la dépollution**, qu'elle soit chronique et historique, ou actuelle et accidentelle, que cette gestion soit imposée et réglementaire (prescription d'IEM, de Plan de Gestion, cessation d'activité, etc.) ou volontaire (cession / vente, etc.).



## Besoin d'actualisation du guide de 2008

- Évolution depuis 14 ans de l'état des connaissances sur le comportement des polluants,
- Pour une meilleure prise en compte des dynamiques multiphasiques (huileuses, gazeuses, aqueuses, etc.),
- Pour adhérer aux problématiques actuelles et celles à venir (polluants et thématiques « émergentes »),
- Pour une meilleure approche pédagogique du guide destiné à un large public confronté de près ou de loin à la question des pollutions,
- Pour améliorer la portée opérationnelle des informations apportées par le guide dans le domaine des diagnostics et dépollutions.

## Périmètre du guide

Le guide vise spécifiquement les **pollutions concentrées** (masses et teneurs élevées sur une aire géographique restreinte, pollutions ponctuelles) **chimiques, organiques et inorganiques, habituellement rencontrées sur les sites et sols pollués.**

Sont exclus du périmètre du guide:

1. les pollutions radiologiques,
2. bactériologiques et
3. pyrotechniques (présence dans les sols d'engins de guerre non explosés),
4. amiantifères et nanoparticulaires .



**Le guide s'adresse à tous les acteurs et parties prenantes de la gestion des pollutions qu'il s'agisse des administrations régaliennes, des collectivités locales, des aménageurs (et leurs architectes), des assureurs (devant intervenir sur des sinistres de pollution), des industriels, bureaux d'études et opérateurs de la dépollution.**

**In fine, savoir lire, comprendre et construire un schéma conceptuel de transfert et d'exposition**

## Le guide est ainsi organisé comme suit :

**1. Les environnements géologiques et hydrogéologiques** dans lesquels s'opèrent les transferts des polluants (principales propriétés du sol et du sous-sol contrôlant la migration des polluants) ;

**2. Le comportement des polluants en phase huileuse;**

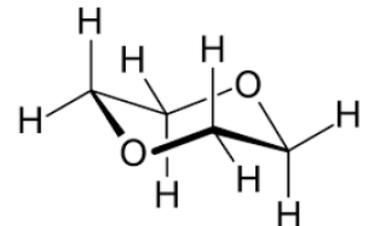
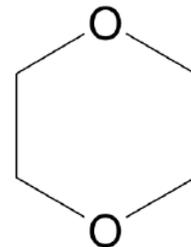
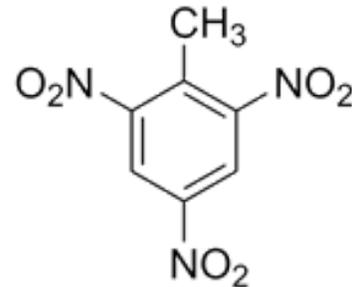
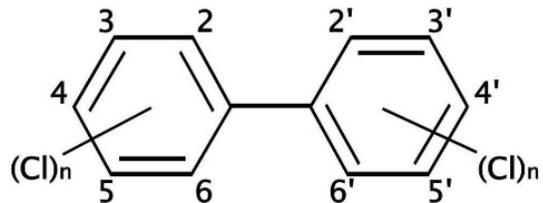
**3. Le comportement des polluants en phase aqueuse** et les principaux moteurs (convection, diffusion / retrodiffusion, etc.) et propriétés qui contrôlent leur transfert et leur distribution dans le milieu souterrain (solubilité, sorption, etc.). Sont abordés par ailleurs dans cette section 1) les **mécanismes régissant les transferts réactifs**, qu'il s'agisse de **réactions biotiques** ou de **réactions strictement abiotiques** (physico-chimiques) et 2) le transport de polluants sous forme particulaire ;

**4. Le comportement des polluants en phase gazeuse**

**5. Le descriptif des principales familles de substances et éléments impliqués dans les pollutions** appelant la réalisation de diagnostics, d'évaluation et de gestion des risques → **choix de présentations monographiques par polluant ou familles de polluants. Exemple du mercure.**

## Familles de composés organiques

- Les **hydrocarbures pétroliers non aromatiques** (alcane, alcène, cycloalcanes, etc.) ;
- Les **BTEX** (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes) ;
- Les **HAP** (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) ;
- Les **Hydrocarbures aromatiques hétérocycliques** (NSO) dont le dibenzothiophène ;
- Les **PCB** (PolyChloroBiphényles) et les **dioxines et furannes chlorés** (PCDD & PCDF) et **bromés** (PBDD & PBDF) ;
- Les **additifs des essences** (plomb tétraéthyl, TBA (alcool butylique tertiaire), méthanol, MTBE et ETBE, DIPE (éther diisopropylique), etc.) ;
- Les **COHV** (Composés OrganoHalogénés Volatils) avec les sous-familles des chloréthènes, chloréthane, les chlorométhanes, les COHV bromés et les Fréons ;
- Les **composés nitroaromatiques** polaires et apolaires et les triazines nitrées ;
- Les **chlorobenzènes** (mono-, di-, tri-, tetra- hexa-chlorobenzènes) ;
- Les **esters cycliques** dont le 1,4-dioxane ;
- Les **composés perfluorés PFASs, PFOS et PFOAS** ;
- Les **phénols**.



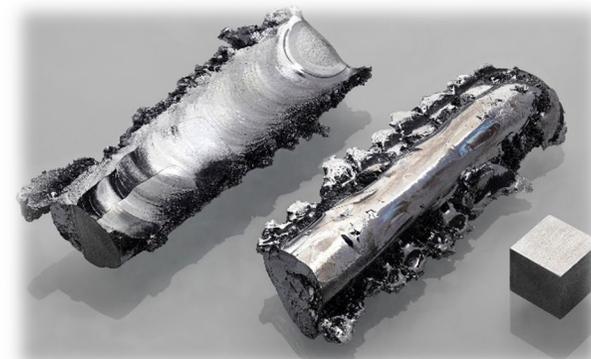
## Familles de composés inorganiques (hors métaux et métalloïdes)

- Les sels de chlorate  $\text{ClO}_3^-$  et de perchlorate  $\text{ClO}_4^-$  ;
- Les sels de nitrate  $\text{NO}_3^-$  et d'ammonium  $\text{NH}_4^+$  ;
- Les cyanures et leurs composés (cyanates, etc.).



## Familles des éléments (métaux et métalloïdes)

- Le mercure et ses composés ;
- L'arsenic et ses composés ;
- Le sélénium et l'antimoine ;
- Le chrome et ses composés ;
- Le plomb et ses composés ;
- Le cuivre et ses composés ;
- Le cadmium et ses composés ;
- Le fer et le manganèse ;
- Le zinc et ses composés ;
- L'uranium et ses composés.



## Mercure (Hg) et ses composés

### Introduction / définition

Le mercure est l'élément chimique de numéro atomique 80, de symbole Hg. Il fut désigné par « vif-argent » jusqu'au début du XIX<sup>ème</sup> siècle, un attribut qui lui est resté en allemand (*Quecksilber*) et en anglais (*Quicksilver*). Le mercure sous sa forme élémentaire Hg<sup>0</sup> est le seul métal stable se présentant à l'état liquide, en équilibre avec une phase vapeur, dans les conditions de pression et température standards. Hg<sup>0</sup> bout à 357 °C et possède une pression de vapeur à 20 °C de 0,17 Pa (0,0013 mm Hg), et une concentration saturante à cette température de 14 mg.m<sup>-3</sup>. Le mercure peut adopter trois degrés d'oxydation, qui sont, par degré croissant d'oxydation i) Hg<sup>0</sup> (métallique), ii) Hg<sup>+</sup> (mercureux), iii) Hg<sup>2+</sup> (mercurique). Sa masse volumique est très élevée 13,546 g.cm<sup>-3</sup> (20 °C).



Figure 14 : Billes de mercure élémentaire métal Hg<sup>0</sup> (source : D Hubé, 2011)

### Origines et usages

Le mercure est un métal constitutif des minéraux formant l'écorce terrestre ; comme pour tous les composés inorganiques, le fond géochimique naturel en mercure est directement dépendant de la nature du soubassement rocheux. Les teneurs ou concentrations habituellement rencontrées sont dans les gammes de 0,03 à 0,15 mg.kg<sup>-1</sup> (de poids sec) pour les sols ; 0,5 à 15 ng.L<sup>-1</sup> pour les eaux souterraines ; 0,01 à 6 ng.L<sup>-1</sup> dans les eaux de surface courantes et 1 à 4 ng.m<sup>-3</sup> dans l'air atmosphérique. Le mercure est un métal chalcophile ; associé au soufre, il se présente sous forme de cinabre HgS (rouge vermillon) dans les minerais de mercure. Le Hg<sup>0</sup> s'obtient par grillage du cinabre dans des fours, suivi par une étape de condensation. Le mercure est ensuite conditionné dans des potiches de 25 kg.

Ce métal, du fait de ses propriétés physico-chimiques a trouvé des applications dans de très nombreuses branches de l'industrie et activités humaines : électrochimie du chlore et de la soude, électronique, lampes néons, contacteurs électriques, chimie de synthèse (catalyseur), peintures et pigments (vermillon), industrie nucléaire (séparation des isotopes du lithium pour les charges militaires thermonucléaires) et de l'armement (amorces au fulminate de mercure Hg(CNO)<sub>2</sub>), soins et santé (amalgames dentaires, etc.). La chapellerie (pour la préparation des feutres au nitrate de mercure Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), l'industrie textile et la miroiterie anciennes sont aussi des activités susceptibles d'avoir introduit du mercure dans les milieux. Les propriétés d'amalgamation du mercure avec d'autres métaux sont exploitées dans l'orfèvrerie (dorures, argenture), dans l'orpaillage et dans les anciennes électrolyses au mercure pour la fabrication du chlore et de la soude (stabilisation du Na<sup>+</sup> dans l'amalgame Na<sup>+</sup>Hg<sup>0</sup>).

Et si possible les principales grandeurs physico-chimiques influençant le devenir du polluant et de ses espèces

Rejoint la matrice activités / polluants

### Principaux processus influençant le comportement et le transfert

Les principales espèces chimiques rencontrées dans la nature et les sites et sols pollués par le mercure sont les suivantes : mercure élémentaire métal Hg<sup>0</sup>, sels mercuriques (HgCl<sub>2</sub> et HgSO<sub>4</sub>), sels mercureux (Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> ("calomel")), oxydes mercuriques (mercure rouge) Hg<sub>2</sub>O, sulfure mercurique ("cinabre" et "métacinabre" vermillon) HgS, les espèces organomercurielles (alkyls mercure : méthyls (chlorure de méthyl mercure, mono et di méthylmercure) et éthyls mercure (RHgX avec R= radical méthyl, éthyl, diméthyl, etc. et X = OH-, Cl-)), les espèces organo-mercurielles phénylées (composés de synthèse, biocides : acetate de phényl mercure).

Le Tableau 1 ci-après présente les principales propriétés physico-chimiques des espèces mercurielles les plus courantes. Le comportement des différentes formes de mercure sera différent du fait de caractéristiques contrastées.

	Mercur e	Oxyde mercuriq ue	Sels mercuriques	Sels mercureux	Sulfure mercurique ("cinabre")	Sulfate mercurique	Formes organomercurielles	
	Mercur e	Oxyde mercuriq ue	Chlorure mercurique	Chlorure mercurieux (calomel)	Sulfure mercurique ("cinabre")	Sulfate mercurique	Chlorure de méthyl-mercure	Diméthyl-mercure
Formule	Hg <sup>0</sup>	HgO	HgCl <sub>2</sub>	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	HgS	HgSO <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> HgCl	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Hg
Masse molaire (g.mol <sup>-1</sup> )	200,59	216,61	271,52	472,09	232,65	296,68	251,1	230,66
Point de fusion (°C)	- 38,9	Se décompose à 500	276	Sublimation à 385	Sublimation à 580	Se décompose avant 550	Non renseigné	Non renseigné
Point d'ébullition à Patm (°C)	356,6	Non renseigné	302	Non renseigné	584	Non renseigné	Non renseigné	Non renseigné
Densité (t.m <sup>-3</sup> )	13,55	11,14	5,4	7,15	8,1	6,47	4,06	3,19
Densité de vapeur (air = 1)	6,93	Non renseigné	9,8	Non renseigné	5,39	Non renseigné	Non renseigné	Non renseigné
Tension de vapeur (en Pa)	0,16 (20°C) 1,69 (50°C) 11,84 (80°C)	9,2.10 <sup>-12</sup> (20°C) 12 000 à 360°C	13 (100°C) 347 (150°C) 3 200 (200°C)	0,009	Non renseigné	Non renseigné	1,76 (20°C)	8,3. 10 <sup>3</sup> (20°C)
Cte Henry/ Volatilité H = Pa m <sup>3</sup> .mol <sup>-1</sup>	<b>729</b>	3,76.10 <sup>-11</sup>	3,69.10 <sup>-5</sup>	Non renseigné	Non renseigné	Non renseigné	1,90.10 <sup>-5</sup>	<b>646</b>
Hydrosolubilité (mg.L <sup>-1</sup> ) à 20°C à 100°C	0,02 0,6	52 410	66 000 584 000	2	0,01	Hydrolysé	100	1 000

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques du mercure et de ses principaux composés

Le mercure élémentaire métal Hg<sup>0</sup> forme un fluide non mouillant se traduisant par une grande dispersion du métal dans le milieu poreux sous forme de gouttelettes. Malgré sa densité élevée (d = 13) ces gouttelettes ne pénètrent que difficilement dans le milieu poreux par infiltration. L'infiltration est possible en présence d'une macroporosité et lorsque des quantités importantes de mercure saturent une partie de l'espace poreux, la pression exercée alors par la « colonne » de mercure étant suffisante pour contrecarrer les forces de pénétration interporales. La perte de solution renfermant des espèces mercurielles solubles peut être à l'origine de l'infiltration de mercure en profondeur, en zone non saturée comme saturée. Le Hg<sup>0</sup> métal peut se « néoformer » in-situ en profondeur, par réduction d'espèces solubles et réactives (basées sur Hg<sup>2+</sup>).

L'équilibre entre Hg<sup>0</sup> métal et Hg<sup>0</sup> gazeux est largement thermodynamique ; la pression de vapeur du mercure augmente de façon exponentielle avec la température. Ces vapeurs mercurielles sont susceptibles de polluer l'air du sol et, selon les conditions thermo-barométriques, l'air extérieur et l'air intérieur des bâtiments. La question de la réactivité et de l'adsorption du mercure sur les éléments

Transformation environnementale

Le mercure est un métal dont la transformation environnementale est tributaire de l'environnement physico-chimique dans lequel il se présente. Bien que ne pouvant pas se transformer en composés organo-mercuriels sous l'effet du mercure, au même titre que les autres métaux, est présente (Schuster, 1991) :

- Forme dissoute ionique libre ;
- Forme adsorbée non spécifique (par liaisons électrostatiques) ;
- Forme adsorbée spécifique (par liaisons covalentes) ;
- Formes complexées chélatées (liaisons organiques) ;
- Forme solide minérale précipitée (carbonates, sulfates, sulfures, etc.).

Ces formes concernent le mercure sous ses différentes valences, elles-mêmes dépendantes des conditions redox : Hg<sup>0</sup> (mercure élémentaire), Hg<sup>2+</sup> (ion mercurieux), Hg<sup>2+</sup> (ion mercurique). Le mercure élémentaire et l'ion mercurique sont les deux formes stables en milieu aqueux, l'ion mercurieux se dismutant instantanément en Hg<sup>0</sup> et Hg<sup>2+</sup>. **Les principales réactions d'oxydo-réduction impliquant le mercure concernent le couple Hg<sup>2+</sup> / Hg<sup>0</sup>.** Le mercure est un cation "mou"<sup>2</sup>, montrant une forte préférence pour Cl, Br, I, P, S, Se et certains ligands de type N<sup>3</sup>. Sa coordination peut varier de II à IX, avec une préférence pour les coordinances les plus faibles. Sa préférence pour les complexes linéaires de coordinance II est un fait marquant (Cotton et al. 1999). Les principaux travaux de recherche relatifs à la capacité d'adsorption / rétention des espèces mercurielles concernent Hg<sup>2+</sup> du fait :

- de son **importante réactivité** (Hg<sup>2+</sup> / Hg<sup>0</sup>, faible potentiel standard rendant Hg<sup>2+</sup> facilement réductible et Hg<sup>0</sup> aisément oxydable) ;
- de sa **grande affinité pour une vaste gamme de ligands polaires** (comme les acides faibles de Lewis (sulfures) et une plus faible affinité pour les bases de Lewis (comme par exemple -COOH) (Jackson, 1998) :
  - o Le mercure a une forte propension à former des complexes avec Cl<sup>-</sup>, OH<sup>-</sup>, S<sup>2-</sup>, les groupes fonctionnels sulfurés des composés organiques et NH<sub>3</sub>, du fait de leur grande stabilité avec le mercure et de leur abondance dans les milieux (Schuster, 1991) ;
  - o Hg<sup>2+</sup> forme des complexes de plus faible stabilité avec d'autres halogènes comme Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup> et des ligands nitrés / nitrosés (fonctions amines, etc.) (Jackson, 1998) ;
  - o Les complexes les moins stables concernent F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Schuster, 1991 et Jackson, 1998) ;
- de la solubilité élevée de Hg<sup>2+</sup> ;
- de la toxicité et de la biodisponibilité de Hg<sup>2+</sup> pour intégrer des processus biologiques.

Les principaux facteurs contrôlant la spéciation du mercure en solution sont :

- Le pH,
- La force ionique,

<sup>2</sup> Cation mou : de "soft cation" cation ayant tendance à faire une liaison covalente plus forte que la liaison ionique, donc beaucoup plus stable.

<sup>3</sup> Ligand de type N : N préfixe pour un composé hydrocarboné normal (linéaire) en opposition à un composé hydrocarboné ayant des groupements en position para.

Réactivité biotique et/ou abiotique du polluant et de ses espèces  
Description des mécanismes en jeu dans le devenir spatial et temporel

- Le potentiel redox,
- La Carbone Organique Dissous (COD),
- L'oxygène dissous,
- La concentration en sulfure dissous,
- La concentration en Matière en Suspension (MES).

Le pH, la concentration en ions (en particulier OH<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, S<sup>2-</sup>), et le potentiel redox sont les 3 facteurs essentiels influençant la spéciation du mercure en milieu aqueux (REIMEL ET KRENKEL, 1974 ; WINFREY et RUDD, 1990 ; JACKSON, 1998). Dans le milieu poreux, les principaux éléments constitutifs (organiques ou inorganiques) ayant une forte propension à adsorber le mercure sont, dans l'ordre de leur potentiel d'adsorption eu égard aux espèces mercurielles :

- Les **particules et substances organiques** (phase dissoute) comme les acides humiques ou fulviques (sols). La matière organique est le support adsorbant le plus fort pour le mercure dans les sols, en milieu aqueux et dans les environnements terrestres (ANDERSON, 1979 ; JOHANSSON et IVERFELDT, 1994) ;
- Les **oxydes, hydroxydes** (par exemple FeOOH) et oxyhydroxydes de Fe, Mn, Al amorphes dans les conditions oxydantes. MnOOH et FeOOH représentent les deux supports adsorbant inorganiques les plus forts pour le mercure (JACKSON, 1989) ;
- Les **minéraux argileux** ; la capacité d'adsorption des principaux minéraux argileux couramment rencontrés dans les sols et le milieu poreux est échelonnée comme suit : illite (K Al) > montmorillonite (smectite Na Al Fe Mg) > kaolinite (Al) (en masse de Hg adsorbée / masse d'argile) (JACKSON, 1998). AOMINE et INOUE (1967) montrent que les espèces organomercurielles possèdent une affinité pour les argiles comme suit : montmorillonite > allophane > kaolinite ;
- Les **formes amorphes de FeS** en conditions réductrices.

**Dans les environnements aquatiques, les hydroxydes, les chlorures et les sulfures sont réputés contrôler la spéciation du mercure** (SCHUSTER, 1991; RAVISCHANDRAN 1999). Aux pH neutres les espèces hydroxylées du mercure [Hg<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>, HgOH<sup>+</sup>] sont estimées comme dominantes (HUDSON et al. 1994 ; STUMM et MORGAN, 1995, BROOKINS 1988). En zone saturée et dans les eaux de surface, les espèces mercurielles peuvent s'adsorber sur des particules organiques et/ou minérales en suspension dans les eaux : transport particulaire (> 0,4 µm) ou transport colloïdal (< 0,4 µm). Les teneurs mercurielles dans les sols et le milieu poreux en général sont ainsi largement tributaires des teneurs et de la distribution des éléments organiques ou inorganiques constitutifs adsorbants. A l'échelle microscopique et stérique, l'adsorption du mercure est régie par la valence de l'atome Hg, par la sphère d'hydratation externe (électrostatique) ou interne (liaisons ioniques fortes ou liaisons covalentes). Si le mercure n'est pas chargé, le mercure peut être adsorbé par des liaisons faibles de type VAN DER WAALS, des interactions dipôles ou des liaisons H (JACKSON, 1998). Dans les sols, les espèces mercurielles dominantes de sont pas chargées et le mécanisme prédominant d'adsorption n'est pas l'échange ionique avec les particules du sol mais bien l'attraction électrostatique (SCHUSTER, 1991).

La plupart des composés organomercuriels sont de type RHgX ou R<sub>2</sub>Hg, dans lesquels les unités C-Hg-X ou C-Hg-C sont linéaires (COTTON et al., 1999). Parmi les nombreux composés organomercuriels synthétisés depuis des décades, le cas de R=CH<sub>3</sub> présente un intérêt particulier à cause de sa présence dans les échantillons environnementaux et biologiques et sa toxicité pour les hommes et les animaux. L'ion CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup> existe sous une ou "plusieurs" formes selon le pH du milieu : CH<sub>3</sub>Hg(H<sub>2</sub>O)<sup>+</sup>, CH<sub>3</sub>HgOH, (CH<sub>3</sub>Hg)<sub>2</sub>O, (CH<sub>3</sub>Hg)<sub>3</sub>O<sup>+</sup>. L'ion CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup> est très persistant et forme une grande variété de composé CH<sub>3</sub>HgX (GREISER et GROSS, 1989), ou X peut être un groupe

monodenté<sup>4</sup> ou polydenté pour certains en forme de tripode donnant un complexe tétraédrique (GHILARDI et al., 1992 ; MIDOLLINI et al., 1994). Les interactions de  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  avec les protéines, les peptides, les nucléotides, et d'autres molécules biologiques sont probablement la raison de sa toxicité. Les interactions entre le méthylmercure et le COD dissout montre une forte complexation du méthylmercure avec les molécules organiques de faible poids moléculaire et des constantes d'équilibre variant de 3,85 à 5,28 (HINTELMANN et al., 1997 ; CAI et al., 1999). La méthylation du mercure s'opère dans des conditions réductrices, en présence de bactéries méthyantes et de supports carbonés. Ce processus s'apparente à une « toxication » du milieu du fait de la toxicité de cette espèce mercurielle supérieure à celle de l'espèce initiale et de la facilitation du passage du mercure vers le biote et les organismes vivants. Les conditions méthyantes peuvent être réunies dans les sédiments et les milieux marqués par des pollutions par des composés hydrocarbonés biodégradables. Dans les conditions généralement rencontrées dans les aquifères (milieu aérobie), les conditions déméthyantes prévalent (processus de détoxication).

#### Spécificités des investigations visant le mercure

Compte tenu de la réactivité élevée du mercure, des propriétés (de mobilité, toxicité et d'état physique) contrastées entre les différentes espèces mercurielles, le mercure sera recherché dans les sols, les eaux et les gaz du sol et air ambiant. Selon les produits perdus et les volumes perdus et selon l'âge de la pollution, les profondeurs d'investigations seront variables. La mesure de la spéciation du mercure (dans les sols et/ou les eaux) s'avère pertinente en complément de la mesure du mercure total (la forme mercurielle en présence pose-t-elle réellement un problème ?). La spéciation du mercure dans des matrices solides peut être recherchée par la modélisation géochimique et/ou par la mesure selon différentes méthodes : 1) spectroscopie par absorption rayon X structure fine (XAFS) (s'applique à des teneurs relativement élevées (généralement > 1 mgHg/kg)) 2) extractions chimiques séquentielles et 3) désorption thermique. Des techniques d'extraction sélectives sont aussi appliquées pour appréhender la spéciation du mercure dans les eaux. A cette mesure de spéciation on associera la mesure des paramètres physicochimique et éventuellement la mesure des anions et cations majeurs. Du fait de sa réactivité assez forte, les panaches mercuriels en nappe qui sont documentés sont souvent de faibles extensions. Le mercure gazeux  $\text{Hg}^0$  dans l'air du sol et/ou l'air ambiant doit être mesuré au moins lors de deux campagnes correspondant à des états thermo-barométriques contrastés compte tenu de la thermodépendance des concentrations en vapeur mercurielle en équilibre avec le  $\text{Hg}^0$  libre et/ou sorbé.

#### Influence du comportement sur le choix des technologies de dépollution

Les propriétés de volatilité du mercure élémentaire sont exploitées pour traiter les sols et matériaux mercuriels par voie thermique, *in-situ*, *on-site* (en andain) ou *off-site* (dans des fours, par bâchées et sous faible pression).

Généralement, en présence de faibles tonnages, les techniques d'immobilisation par stabilisation (en utilisant des coulis fonctionnalisés par des radicaux soufrés) après excavation (sous tente et traitement de l'air, si nécessaires), puis évacuation de ces matériaux stabilisés en centre de stockage ou mine de sel (Allemagne) sont privilégiées. Les techniques classiques de confinement (par parois moulées (confinement vertical) et/ou « capping » (confinement horizontal)) s'appliquent aussi au mercure. Pour les eaux souterraines, généralement, du fait de la forte réactivité du mercure avec la matière organique et les formes du soufre, la dépollution s'opère par pompage traitement avec filtration des eaux d'exhaure sur du charbon actif granulaire dopé / fonctionnalisé au soufre. Des techniques par réduction / floculation / sédimentation utilisées pour d'autres métaux seraient aussi potentiellement applicables au mercure.

Les points clés incontournables spécifiques au polluant et ses espèces à ne pas rater dans le cadre d'un diagnostic

Spécificité des solutions techniques de dépollution et de gestion / maîtrise des risques en lien avec le comportement du polluant et ses espèces

<sup>4</sup> Monodenté : ligand à une possibilité de liaison

Merci!

