



n° 6516-1

MEMOIRE

PRÉSENTÉ PAR

DINH THE DUNG

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
D'INGÉNIEUR DES TECHNIQUES DE L'EQUIPEMENT RURAL

ETUDE DES RISQUES DE TRANSFERT DU MERCURE
DANS L'AQUIFERE ALSACIEN AU VOISINAGE DE LA THUR
ET INCIDENCE SUR L'EXPLOITATION DE LA NAPPE

INTRODUCTION

Le développement industriel est un progrès important dans l'histoire de la civilisation humaine, mais à côté des aspects positifs qu'il entraîne, il existe des points noirs tels que la dégradation de notre environnement donc de notre qualité de vie.

Dans les articles scientifiques ainsi que dans les journaux nous pouvons rencontrer le problème de la pollution par divers éléments résultant de l'activité industrielle et rejetés dans la nature. Le mercure est l'un d'eux et la pollution de la baie "Minamata" au Japon, tristement célèbre, a mis en évidence sa toxicité souvent mortelle.

En Alsace, les eaux de la Thur à l'aval de Thann ont subi des déversements de sels, de mercure en solution pendant plusieurs décennies. Ces rejets ont pratiquement cessé depuis 1973, mais les boues du lit de la Thur contiennent encore du mercure. Afin de pouvoir exploiter la nappe comme ressource d'eau potable à proximité de ce cours d'eau, il est nécessaire de savoir les possibilités de migration du mercure dans les alluvions à la fois dans les conditions actuelles, et en cas de modification de la qualité des eaux de la rivière. Le but est de connaître les conditions d'exploitation sans risques excessifs.

L'Agence Financière du Bassin Rhin-Meuse, établissement public de l'Etat à caractère administratif a confié à l'Institut de Mécanique des Fluides de Strasbourg l'étude du transfert du mercure dans le milieu alluvial.

Ce mémoire a été réalisé dans ce cadre. Il comporte deux parties distinctes :

- l'une essentiellement bibliographique situe le problème de la pollution mercurielle, l'inscrit dans le contexte régional lié à la vulnérabilité de l'aquifère alsacien, et rappelle des éléments d'hydrodynamique des milieux poreux nécessaires à la compréhension des mécanismes en jeu ;
- l'autre présente nos travaux à la fois de surveillance du site de Vieux-Thann et d'expérimentation sur colonnes de milieux poreux au laboratoire.

Avant propos

INTRODUCTION

Pages

Nécessité d'une étude sur les risques de la pollution de la nappe phréatique d'Alsace par le mercure.

Objectifs du mémoire.

Plan du mémoire

Première partie

CADRE GENERAL DE L'ETUDE ET NOTIONS FONDAMENTALES.

Chapitre 1 : SITUATION DU PROBLEME DE LA POLLUTION MERCURIELLE EN ALSACE

1.1- <u>Le mercure, sa toxicité, et son comportement dans les différents milieux naturels.</u>	1
1.1.1- Présentation.	1
1.1.1.1- Sources du mercure.	1
1.1.1.2- Les propriétés physiques du mercure.	5
1.1.1.3- Cycle géochimique du Hg.	6
1.1.2- Toxicité.	8
1.1.2.1- Cas d'empoisonnement.	8
1.1.2.2- Norme de danger.	10
1.1.3- Comportement du mercure dans l'eau.	12
1.1.3.1- La distribution du mercure dans une eau fluviale.	12
1.1.3.2- La solubilité du mercure dans l'eau d'après les données thermodynamiques.	14
1.1.4- Mercure dans le sédiment.	17

1.1.5- Mercure dans le sol.	17
1.1.6- Aspect complémentaire : Comportement d'eau mercurielle dans une installation de recharge de nappe.	21
1.2- <u>La nappe phréatique Rhénane.</u>	24
1.2.1- Localisation.	24
1.2.2- Aperçu géologique.	24
1.2.3- Caractère hydrodynamique.	25
1.2.4- Ressources en eau.	25
1.2.5- Vulnérabilité.	25
1.2.6- Les pollutions principales.	27
1.2.6.1- Par les chlorures.	27
1.2.6.2- Par les sulfates.	27
1.2.6.3- Par les nitrates.	27
1.3- <u>La contamination mercurielle en Alsace.</u>	28
1.3.1- Position du problème.	28
1.3.1.1- Rappel historique de la découverte de la pollution mercurielle en Alsace.	28
1.3.1.2- Actions entreprises.	30
1.3.2- Etat actuel des recherches	30
1.3.2.1- Résultats récents	30
1.3.2.1.1- Réseau "eau-vase".	30
a - Pour les eaux superficielles.	30
b - Pour les eaux souterraines.	33
1.3.2.1.2- Réseau écologique.	36
1.3.2.1.3- Transformation mercure minéral-mercure organique.	36
1.3.2.2- Cas particulier de la Thur	37
1.3.3- Premières dispositions pratiques	39
1.4- <u>Conclusion.</u>	40

<u>Chapitre 2 : ELEMENTS D'HYDRODYNAMIQUE DES MILIEUX POREUX</u>	41
2.1- <u>Rappels d'hydraulique souterraine.</u>	41
2.1.1- Définitions.	41
2.1.1.1- Milieux poreux.	41
2.1.1.2- Perméabilité géométrique et coefficient d'emmagasinement spécifique.	43
2.1.1.3- Notion d'homogénéité et d'isotropie.	43
2.1.2- Les équations fondamentales.	44
2.1.2.1- La loi de Darcy.	44
2.1.2.2- Les équations de continuité et de diffusivité.	46
2.2- <u>Mouvement du fluide miscible en milieux poreux saturés.</u>	48
2.2.1- Notion générale sur la dispersion d'un traceur.	48
2.2.2- Les zones de mélange.	
A - Les régimes de dispersion.	51
B - Incidence d'hétérogénéité.	52
2.3- <u>Application à la pollution d'une nappe à partir d'une rivière.</u>	53
2.4- <u>Conclusion.</u>	55

Deuxième partie

SURVEILLANCE D'UN SITE ET ETUDE EXPERIMENTALE AU LABORATOIRE.

<u>Chapitre 3 : TRAVAUX SUR LE SITE EXPERIMENTAL DE VIEUX THANN</u>	56
<u>3.1- Implantation géographique et données hydrogéologiques.</u>	56
3.1.1- Situation.	56
3.1.1.1- Le site expérimental.	56
3.1.1.2- Les piézomètres.	56
3.1.2- Exécutions des forages.	58
3.1.3- Coupes géologiques.	61
<u>3.2- Campagne de prélèvement et résultats.</u>	67
3.2.1- Technique de prélèvement.	67
3.2.1.1- Principe.	67
3.2.1.2- Méthodes de prélèvement.	69
a - Au niveau de la Thur.	69
b - Au niveau du puits de neutralisation.	69
c - Au niveau des piézomètres.	69
3.2.2- Analyses, résultats et observations.	69
3.2.2.1- Analyses.	69
3.2.2.2- Résultats et observations.	72
3.3- <u>Conclusion.</u>	80

Chapitre 4 : ESSAIS SUR COLONNES AU LABORATOIRE

4.1- <u>Nature, but et moyens.</u>	81
4.2- <u>Appareillage, matériaux et techniques.</u>	81
4.2.1- Description du multicolonne.	81
4.2.2- Milieux poreux et fluides utilisés.	82
4.2.2.1- Les milieux poreux.	82
4.2.2.1.1- Composition de la matrice.	82
4.2.2.1.2- Structure des matrices poreuses.	92
4.2.2.2- Les fluides.	94
4.2.2.2.1- Classification.	94
4.2.2.2.2- Caractéristiques.	94
4.2.3- Modes opératoires.	96
4.2.4- Analyse chimique.	99
4.3- <u>Essais sur colonnes et résultats.</u>	99
4.3.1- Méthodologie et présentation des essais.	99
4.3.2- Essais avec les eaux naturelles.	102
4.3.3- Essais avec l'eau de la tranchée.	110
4.3.4- Essais avec les eaux naturelles modifiées.	111
4.3.5- Notions supplémentaires et tableau récapitulatif des résultats.	116

<u>Chapitre 5 : CONFRONTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS DE L'ETUDE.</u>	119
5.1- <u>Bilan des données disponibles.</u>	119
5.1.1- Essais avec les eaux naturelles.	119
5.1.2- Essais avec l'eau de la tranchée de l'usine "Thann & Mulhouse".	121
5.1.3- Essais avec les eaux naturelles modifiées.	121
5.1.3.1- Eaux de 1ère catégorie.	121
5.1.3.2- Eaux de 2ème catégorie.	122
5.2- <u>Interprétations et critiques.</u>	123
5.2.1- Sur la méthode.	123
5.2.2- Sur les résultats.	123
5.3- <u>Application au cas réel.</u>	124
5.4- <u>Essais et études proposés.</u>	125
CONCLUSION GENERALE	126
Bilan et perspectives.	

CONCLUSION GENERALE

Ce travail, consacré à l'étude du transfert de mercure dans l'aquifère alsacien au voisinage de la Thur, est une participation limitée spécifique aux recherches de nombreux spécialistes dans le domaine de la pollution des nappes souterraines libres.

Il est nécessaire de rappeler qu'une étude complète de ce type doit être effectuée en plusieurs étapes successives :

- Analyser les caractéristiques et la toxicité du polluant.
- Etudier les possibilités de transfert du polluant dans la nappe en fonction du temps et de l'espace.
- Proposer des moyens pour l'aménagement de la nappe.

Cependant, par contrainte de temps, nous n'avons fait qu'une partie des 2 premières étapes et pour le reste nous donnerons des tendances à suivre.

D'après le premier chapitre, on a remarqué que le mercure est un polluant toxique pour la santé de l'homme lorsqu'il entre dans la chaîne alimentaire. Ce problème devient grave à cause de l'utilisation inévitable du mercure dans certaines industries, et de son comportement complexe dans les milieux naturels tels que l'eau, le sédiment et le sol. En Alsace, la Thur est la rivière la plus polluée par cet élément car elle a subi des déversements mercuriels pendant des décennies ; l'état de l'eau brute de cette rivière s'est amélioré depuis 1973, mais l'accumulation de mercure dans les sédiments reste un problème à résoudre.

Le deuxième chapitre présente un rappel succinct des connaissances nécessaires de l'hydrodynamique des milieux poreux ; à cette occasion nous pouvons observer que la complexité de l'écoulement de fluides miscibles déjà très grande est accrue au niveau des éléments traces par celle des phénomènes d'échange ; l'étude des problèmes particuliers posés par le mercure (adsorption, désorption, ...) est encore très fragmentaire.

Les trois autres chapitres de l'étude constituent notre apport personnel et original à ce travail.

Pour la surveillance du site expérimental de Vieux-Thann; l'exploitation des résultats obtenus sur la période de novembre 1978 à mai 1979 n'a fait ressortir que des tendances en ce qui concerne les variations des teneurs en mercure en fonction des niveaux d'eau. En effet, les teneurs en mercure, essentiellement comprises entre 0,05 et 0,2ppb ne peuvent être considérées comme significatives sur le plan quantitatif.

Pour l'expérimentation sur colonnes de milieu poreux au laboratoire, les observations principales sont les suivantes :

- Une eau naturelle traversant une matrice poreuse constituée de sable dont une partie a été additionnée de vase mercurielle, entraîne une faible quantité de mercure dans la phase initiale ; les concentrations se stabilisent ensuite à des valeurs situées en dessus de 0,2ppb. Dans certains cas, des modifications de conditions d'écoulement ont donné lieu à une réactivation légère de l'entraînement de mercure.
- L'adjonction, à l'entrée, d'eau de javel peut favoriser considérablement la mobilisation de mercure (dans un rapport supérieur à 100). Le mercure ainsi mobilisé, est distribué dans l'effluent de façon homogène : sous cette forme il n'est que très peu retenu par une couche de sable de quartz, mais la présence d'argile (2 % de kaolinite dans le sable) contribue fortement à la rétention.
- Si par contre le mercure est déjà fixé sur des suspensions fines à l'entrée d'une colonne, le sable seul retient de grandes quantités.

L'application de ces résultats à une nappe près d'une rivière contaminée, ou au voisinage d'un terriil mercuriel, nous suggère des propositions suivantes dans l'exploitation des eaux potables :

- Lorsque les puits d'alimentation en eau potable se trouvent près d'une rivière contaminée, l'analyse des caractéristiques des eaux et des sédiments de cette rivière (ceci à intervalles réguliers) ainsi que celle de la structure du milieu aquifère est indispensable.

- Si les puits se situent au voisinage d'un terril mercuriel, l'exploitation de ces eaux est déconseillée ;
- Dans l'opération de contrôle de la teneur en mercure d'une nappe, les prélèvements doivent s'effectuer quotidiennement si possible : une teneur limite à ne pas dépasser peut, à notre sens, être de 0,5 ppb.

Nous terminerons ce mémoire en formulant l'espoir d'avoir ouvert la voie pour d'autres études sur la pollution mercurielle, recherches qui s'inscrivent toutes dans la lutte de sauvegarde de ce que nous avons de plus précieux : La Nature.