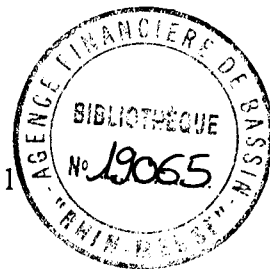


SOMMAIRE



<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	1
<u>I. APPROCHE GLOBALE DU PROBLEME DU TRANSPORT DE MICRO POLLUANTS EN MILIEU POREUX A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT</u>	3
I1. <u>Différents niveaux de la modélisation hydrodynamique</u>	4
I11. Volatilisation et transport gazeux	5
I12. Ruissellement par les eaux de surface	5
I13. Infiltration dans le sol et transport par les nappes souterraines	6
I2. <u>Phénomènes physico-chimiques influant sur le devenir des micro polluants</u>	7
I21. Photolyse	7
I22. Processus de transformation biologique	8
I23. Transformations chimiques	8
I24. Mécanismes de rétention	9
a) Différents types de sorption	9
b) Le milieu poreux	11
c) La loi de KARICKHOFF	11
d) la matière organique	13
<u>II. APPROCHE DU PROBLEME PAR LE LSGC</u>	14
III1. <u>Modélisation</u>	15
III11. <u>Appréhension des phénomènes à l'équilibre thermodynamique local</u>	15
III111. Calcul de spéciation à l'équilibre thermodynamique local	
III112. Simulation du transport de solutés en milieu poreux à l'équilibre thermodynamique local	
III12. <u>Prise en compte des limitations cinétiques</u>	16
III121. Loi cinétique chimique	
III122. Transfert de matière	
III2. <u>Approche expérimentale en colonne</u>	16
<u>III. CONCLUSIONS. PERSPECTIVES</u>	18
BIBLIOGRAPHIE	21
ANNEXES	22
ANNEXE 1	23
ANNEXE 2	27
ANNEXE 3	32
ANNEXE 4	44

INTRODUCTION GENERALE

Le cadre de l'étude commandée par GAIA-IC au LSGC était le recensement des phénomènes mis en jeu lors du transport des micropolluants organiques dans les milieux poreux à l'échelle du bassin versant, dans le but de définir un protocole expérimental permettant la validation de la loi de Karickhoff en écoulement.

Ce rapport propose une approche, délibérément voulue la plus globale possible, du problème du transport de polluants à l'échelle du bassin versant. En ce qui concerne la problématique de la modélisation, on s'inspirera du séminaire organisé par le Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et des Forêts (CEMAGREF) le 20 Septembre 1994.

La première partie sera consacrée à un catalogue des différents phénomènes qui agissent sur le devenir de micropolluants à l'échelle du bassin versant. Ce catalogue n'a certes pas la prétention d'être exhaustif, mais préfigure plutôt des différentes "spécialités" nécessaires à l'élaboration d'un programme de recherche complet. Il permettra l'orientation des recherches en plusieurs modules indépendants.

La deuxième partie présentera les compétences propres du LSGC en termes de méthodologie, particulièrement en ce qui concerne le transport interactif de solutés au niveau de l'agrégat poreux.

La troisième partie tentera, elle, de résumer le problème étudié en quelques questions de fond qui seront autant de thèmes de recherche et présageront de possibles collaborations.

Les annexes présenteront de manière détaillée les outils mathématiques du laboratoire destinés à mieux comprendre et appréhender les phénomènes de transport en milieu poreux et une méthodologie la plus générale possible d'expérimentation en milieu naturel.

Il est difficile de parler de micro polluants en général tant les variétés et les comportements sont nombreux. Deux grandes catégories de polluants existent : les polluants minéraux et les polluants organiques à l'intérieur desquels on distingue les polluants organiques volatils et non volatils. Les polluants minéraux sont principalement représentés par les métaux lourds. Ils s'accumulent dans le sol au fur et à mesure des épandages. Leur adsorption peut mettre en jeu plusieurs processus comme la précipitation, l'échange d'ions ou la complexation de surface et implique les minéraux et la matière organique.

Les propriétés d'adsorption globales seront modifiées par :

- la complexation en solution
- l'oxydo-réduction

Cette adsorption pourra être accélérée du fait de l'activité biologique et de la catalyse de surface.

Ce rapport s'intéressera particulièrement aux micro polluants organiques et à leurs devenir dans le sol. Dans le cadre de l'étude, les produits en vue seront bien sûr les pesticides et les engrais.

III. CONCLUSIONS. PERSPECTIVES

Les enjeux d'un tel programme de recherche, aussi ambitieux puisse-t-il paraître à première vue, sont nombreux. La France se situe en effet au premier rang européen et au troisième rang mondial pour la consommation de produits phytosanitaires, l'agriculture représentant 50% de cette consommation. Pour tenter de préserver l'environnement, une réglementation existe à deux niveaux : une réglementation amont s'exerce au moment de l'homologation du produit et un contrôle aval intervient par l'interdiction de dépasser une certaine concentration de ce produit (par exemple 0,1 $\mu\text{g/l}$ pour un pesticide seul et 0,5 $\mu\text{g/l}$ en concentration cumulée) [Carlier, 1994].

Ces concentrations sont souvent dépassées. Il est donc indispensable de fournir des outils capables de prévoir les risques liés à l'utilisation de ces produits phytosanitaires. La construction de ces outils passe par une phase de modélisation du transfert de ces produits dans les milieux étudiés.

Un certain nombre de questions subsistent encore quant à la modélisation (ces questions-réflexions sont issues du compte-rendu du séminaire du CEMAGREF du 20 Septembre 1994):

- Comment caractériser la structure des sols, quels paramètres utiliser et avec quelle précision ?
- Comment rendre compte le plus précisément possible les mécanismes de l'adsorption, faut-il considérer son aspect cinétique ?
- Est-il nécessaire de prendre en compte les écoulements préférentiels, si oui comment ?
- Quelle prévision peut-on faire pour la volatilisation ?
- Comment prendre en compte les variabilités spatio-temporelles et leurs incertitudes ?
- Que doit-on faire pour valider un modèle, quand peut-on décider que l'outil est utilisable ?

La notion fondamentale en ce qui concerne l'étude du transport de polluants dans les milieux poreux est la définition d'une échelle de temps. En effet chaque processus physique ou chimique peut être appréhendé sous la forme d'un temps caractéristique. C'est par la comparaison de ces temps caractéristiques que les processus limitants seront déterminés. Cette notion est développée mathématiquement en annexes 2 et 3 où les temps caractéristiques des divers processus sont détaillés. Il sera donc important de tenter

d'accéder à ces temps caractéristiques par des expériences en colonnes, des traçages sur le terrain judicieusement choisis pour découpler au mieux les phénomènes. Il n'existe malheureusement pas comme nous l'avons souligné d'expérience-type. Le choix des traceurs, des détecteurs, des conditions opératoires en général dépendront du terrain et des produits à suivre.

Caractérisation des interactions physico-chimiques sur le terrain :

La quantification des interactions effectuée au laboratoire fait souvent apparaître un certain nombre de paramètres qui ne peuvent pas être transposés simplement et directement sur le terrain. Ces paramètres, comme les capacités d'échange ou ceux décrivant le transfert de matière lié aux caractéristiques de l'écoulement, sont spécifiques de la phase solide du site .

Les techniques utilisées suivent les mêmes principes que celles utilisées au laboratoire : c'est par l'injection d'un signal de concentration d'un traceur de l'eau et d'un soluté interactif à étudier et par la comparaison des signaux de sortie de ces deux substances que pourront être quantifiés les phénomènes.

L'étude de la migration d'une substance dans un milieu naturel donné doit donc suivre les étapes suivantes:

- caractérisation des écoulements dans le milieu poreux.
- étude de la chimie de la substance considérée.
- étude de la géochimie du milieu poreux en relation avec la chimie de la substance.
- détermination au laboratoire de la nature des interactions physico-chimiques influençant la distribution du produit entre la phase mobile et la phase stationnaire.
- quantification de ces interactions au laboratoire puis sur le terrain.

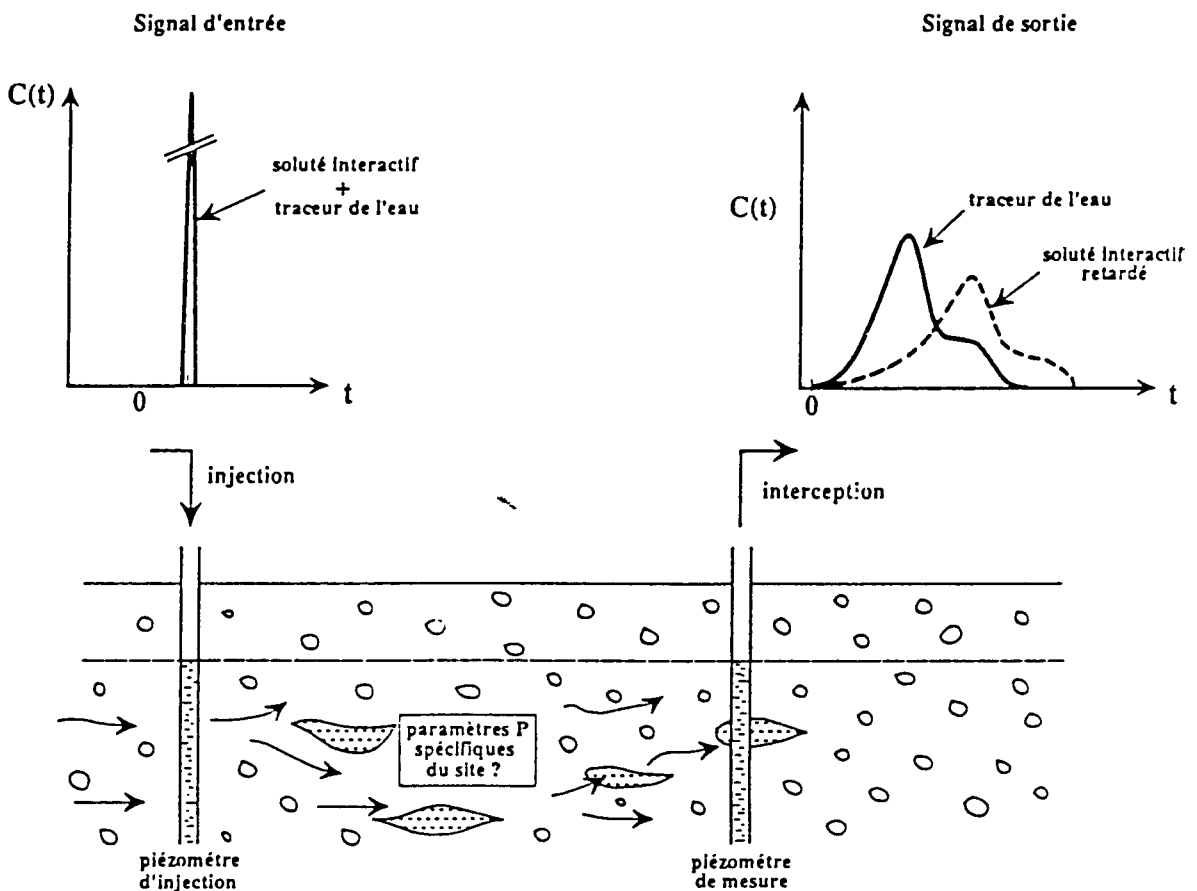


Figure 6 : mesure des paramètres spécifiques d'un site expérimental.

Dans l'optique de la mise au point d'un protocole expérimental fixe permettant d'apporter le plus de réponses possible à ces questions, l'annexe 4 proposera l'ébauche d'une méthodologie d'investigation adaptée à l'étude du transport de solutés en milieu poreux naturel.