

Soutenance de thèse de Quentin Guillemoto le jeudi 15 décembre 2022 à 14 h

Salle DARCY - UMR 7619 METIS - Tour 46/56 - 3<sup>ème</sup> étage - site Jussieu - SU  
Salle virtuelle [https:// us02web.zoom.us/j/87801888664](https://us02web.zoom.us/j/87801888664)

**Transfert des molécules organiques traces des eaux usées traitées  
dans un système de Soil Aquifer Treatment (SAT)  
Application à l'hydrosystème côtier d'Agon-Coutainville (Manche)**

**Résumé :** Les pressions sur les eaux souterraines (sécheresses, surexploitations, pollutions...) contribuent à une diminution globale de la disponibilité de la ressource. Les solutions de recharge maîtrisée des aquifères (MAR) et de traitement de l'eau par le sol et l'aquifère (SAT) présentent des avantages certains pour une future gestion durable de la qualité et de la quantité des eaux souterraines et notamment par l'utilisation des eaux usées traitées. La préservation de la qualité des eaux souterraines lors de l'introduction de ces eaux dans un système MAR doit être assurée. Une difficulté majeure réside dans la compréhension des processus induits par ces techniques conditionnant la qualité des eaux souterraines, notamment les molécules organiques traces (TrOCs) présentes dans les eaux usées traitées qui font l'objet d'une attention particulière ces dernières années. A ce jour, la compréhension du devenir des TrOCs dans un SAT est très limitée malgré une connaissance croissante des processus régissant leur réactivité (dégradation, sorption). Encore plus rares sont les études qui considèrent le SAT comme partie intégrante d'un hydrosystème naturel, dans lequel la dynamique des écoulements souterrains augmente la complexité du comportement de ces molécules.

La méthodologie de la thèse combine l'analyse de données, l'expérimentation et la modélisation mises en œuvre à des échelles spatio-temporelles différentes. Elle est appliquée au site SAT côtier localisé à Agon-Coutainville (Normandie, France) actif depuis plus de 20 ans. L'interprétation des données acquises sur le terrain par des outils géochimiques et d'analyse de séries temporelles établit une première description du comportement d'une sélection de TrOCs dans le SAT. Les résultats à l'échelle du site montrent la diversité de comportement des TrOCs associée à la fois à des facteurs réactifs, opérationnels et hydrodynamiques.

Une expérience d'infiltration contrôlée en conditions opérationnelles à l'échelle d'un bassin d'infiltration sur 35 jours est interprétée à l'aide d'outils de modélisation géochimique et analytique du transport réactif (Advection-Dispersion Equation, ADE). Les résultats montrent une atténuation naturelle de 5 TrOCs via le SAT après un temps de résidence moyen de 12 jours par la quantification des coefficients de dégradation du premier ordre ( $\mu$ ) et coefficient de retard ( $R$ ).

A l'échelle pluriannuelle de l'aquifère accueillant le système SAT, un modèle d'écoulement et de transport (MARTHE) est construit afin de quantifier l'influence des facteurs environnementaux (climat, marées, conditions opérationnelles) sur l'hydrosystème côtier quant au devenir des TrOCs. Les résultats du modèle montrent leur incidence sur les vitesses d'écoulement, la dilution et la réactivité des TrOCs. Une atténuation des concentrations en TrOCs par réactivité est attendue sur les deux-tiers de la surface du SAT lors des 6 mois de l'année les plus secs, alors que sur la surface restante, la dynamique marine locale amène une baisse des concentrations majoritairement par dilution. A l'exutoire naturel de l'aquifère, les temps de résidence moyens simulés s'étalent entre 74 et 489 jours selon la dynamique saisonnière qui pourraient être précisés par des investigations complémentaires concernant les eaux de surface (mer et cours d'eau).

Ces travaux apportent une méthodologie innovante pluridisciplinaire intégrant divers outils pour aborder le devenir des TrOCs dans des systèmes SAT à différentes échelles spatiales et temporelles, tout en considérant le comportement hydrodynamique et réactif de tels systèmes. De nombreuses perspectives à ces travaux de thèse s'ouvrent, particulièrement concernant la caractérisation fine de la réactivité des TrOCs dans de tels systèmes en contexte côtier, ou encore le développement d'outils de modélisation hydrodynamique intégrant des processus réactifs mécanistiques ce qui améliorerait la compréhension du comportement des TrOCs dans ces systèmes.

**Mots-clefs :** molécules organiques traces, Soil Aquifer Treatment, transport réactif, modélisation hydrodynamique et transport, observations in-situ

**Abstract:** Pressures on groundwater (droughts, overexploitation, pollution, etc.) contribute to an overall decrease in the availability of the resource. Managed Aquifer Recharge (MAR) and Soil Aquifer Treatment (SAT) have clear advantages for future sustainable quality and quantity management of groundwater, especially through the use of treated wastewater. The preservation of groundwater quality when introducing these so-called unconventional waters into MAR must be ensured. A major difficulty lies in understanding the processes induced by these techniques that affect groundwater quality. These include the Trace Organic Compounds (TrOCs) present in treated wastewater, which have received particular attention in recent years. To date, the understanding of the fate of TrOCs at the scale of a SAT site is very limited despite a growing knowledge of the processes induced (degradation, sorption). Even fewer studies consider the SAT system as an integral part of a natural hydrosystem, in which the dynamics of groundwater flows increase the complexity of the behaviour of these molecules.

The methodology of the thesis combines data analysis, experimentation and modelling implemented at different spatio-temporal scales. It was applied to the coastal SAT site located in Agon-Coutainville (Normandy, France) which has been active for more than 20 years. Interpretation of the data acquired in the field using geochemical and time series analysis tools allowed a first description of the behaviour of a selection of TrOCs within a SAT system.

The results at the site scale show the diversity of behaviour of TrOCs in the SAT associated with reactive, operational and hydrodynamic factors.

A controlled infiltration experiment under operational conditions at the scale of an infiltration basin over 35 days was interpreted using geochemical modelling tools and analytical modelling of reactive transport (Advection-Dispersion Equation, ADE). The results show a natural attenuation of TrOCs from the SAT after an average residence time of 12 days in the SAT by quantifying first-order degradation coefficients ( $\mu$ ) and retardation coefficients ( $R$ ) for some molecules

On the multi-year scale of the aquifer hosting the SAT system, a flow and transport model (MARTHE) was built to quantify the influence of environmental factors (climate, tides, operational conditions) on the coastal hydrosystem with regard to the fate of TrOCs. The results of the model show their impact on flow rates, dilution and reactivity of TrOCs. An attenuation of TrOC concentrations by reactivity is expected over two-thirds of the surface of the SAT during the driest six months of the year, while over the remaining surface, local marine dynamics lead to a decrease in concentrations mainly by dilution. At the natural outlet of the aquifer, the simulated average residence times range from 74 to 489 days depending on the seasonal dynamics, which could be specified by additional investigations concerning the surface water (sea and river).

This work provides an innovative multidisciplinary methodology integrating various tools to address the fate of TrOCs in SAT systems at different spatial and temporal scales, while considering the hydrodynamic and reactive behaviour of such systems. Many perspectives to this thesis work are arising, particularly concerning the characterisation of the reactivity of TrOCs in such systems in a coastal context, or the development of hydrodynamic modelling tools integrating more mechanistic reactive processes, which would improve the understanding of the behaviour of TrOCs in these systems.

**Keywords :** trace organic compounds, Soil Aquifer Treatment, reactive transport, hydrodynamic and transport modelling, in-situ observations