

## Transport et réactivité de l'oxygène dans les systèmes hydrogéologiques

**Mots clés :** transport réactif, biogéochimie, mesures par spectroscopie de masse et isotopie

**Stage de recherche et développement 6 mois (Janv – Juin 2019)** au laboratoire Géosciences Rennes

**Supervision :** Camille Bouchez (postdoc CNRS), Thierry Labasque (IR CNRS), Tanguy Le Borgne (Physicien CNAP)

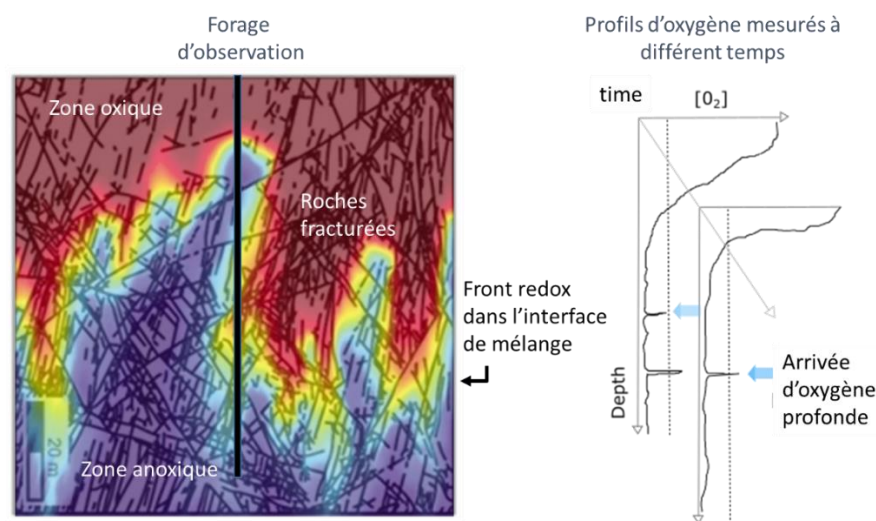
**Dossier de Candidature :** Lettre de Motivation et CV avec référent - Notes de M1

**Compétences attendues :** connaissance des équations de transport, goût pour le terrain et la modélisation, curiosité et prise d'initiative

**Candidature et informations :** [camille.bouchez@univ-rennes1.fr](mailto:camille.bouchez@univ-rennes1.fr)

### Contexte

L'oxygène est l'oxydant le plus facilement disponible et c'est pourquoi la distribution en oxygène dissous dans les milieux aquatiques est un élément déterminant de l'activité métabolique et des cycles biogéochimiques. Lors de son transport par l'écoulement de l'eau dans les sols, les roches et le lit des rivières, l'oxygène dissous joue un rôle essentiel dans l'activation ou l'inhibition des réactions biotiques ou abiotiques, déterminant en particulier le recyclage des nutriments ou des contaminants dans les milieux naturels (Chapelle, 1993; Green et al., 2016; Brandt et al., 2017). Bien que les cinétiques réactionnelles de l'oxygène soient bien maîtrisées dans des conditions de laboratoire (batchs), les dynamiques de transport et réactivité de l'oxygène dans les milieux naturels posent de nombreuses questions. Des observations récentes ont notamment montré que les distributions spatiales de l'oxygène dans le lit des rivières (Brandt et al., 2017) et dans les roches fracturées (Figure 1) sont extrêmement hétérogènes et intermittentes, ce qui peut conduire à la formation de « hot spots » de réactivité biogéochimique (Bochet et al., submitted). Les nouveaux moyens d'observation développés dans le cadre du projet CRITEX (<https://www.critex.fr>) et les infrastructures d'observation H+ (Réseau national des sites de recherche en hydrogéologie <http://hplus.ore.fr/>) et OZCAR (Observatoires de la Zone Critique <http://www.ozcar-ri.org/>) offrent de nouvelles opportunités pour explorer les dynamiques de transport et de réactivité de l'oxygène dans les environnements souterrains et leurs conséquences sur les cycles biogéochimiques à différentes échelles.



**Figure 1 Représentation schématique de la distribution en oxygène dans les roches fracturées (adapté de Geiger and Emmanuel, 2010):** La concentration en oxygène décroît généralement avec la profondeur du fait des apports en oxygène par la surface et de la consommation de l'oxygène au fur et à mesure du transport dans le milieu (figure de gauche). Cependant, le transport rapide de l'oxygène par des chemins préférentiels dans les fractures induit une répartition complexe du front redox et une zone de mélange étendue dans laquelle de fortes concentrations en oxygène peuvent être localement observées. Les profils en oxygène dissous mesurés dans les forages (à droite) montrent ainsi des profils différents de la décroissance continue attendue, avec des pics d'oxygène localisés, dont la concentration fluctue dans le temps (Bochet et al., submitted).

L'objectif de ce stage est d'étudier les propriétés de transport et de réactivité de l'oxygène dans les milieux naturels par de nouvelles méthodes de suivi et d'expérimentation sur le terrain, s'appuyant en particulier sur la mesure à haute fréquence des gaz dissous par spectrométrie de masse in situ (<https://www.critex.fr/instruments/wp8-traceurs-chimiques-et-isotopiques/task-8-1-gas-tracing/?lang=fr>). Ces mesures seront interprétées par de nouvelles méthodes de modélisation du transport réactif développées dans le projet Européen ERC ReactiveFronts (<https://reactivefronts-erc.univ-rennes1.fr/>)

Une première étape du stage consistera à dresser l'état de l'art des concentrations en oxygène dissous dans les eaux souterraines et de s'interroger sur le lien entre structure du milieu, dynamique des flux souterrains et la variabilité des concentrations dans l'espace et dans le temps. La variabilité spatiale sera étudiée à partir des données de la littérature, des données référencées dans la base de données H+, et de nouvelles données qui seront acquises lors de campagnes de mesure pendant le stage. La variabilité temporelle sera étudiée à partir des profils d'oxygène mesurés mensuellement depuis un an sur l'observatoire hydrogéologique des milieux fracturés de Ploemeur (<http://hplus.ore.fr/ploemeur>).

De plus, deux approches complémentaires sont proposées et pourront être mises en place en concertation avec le candidat :

- ❖ La caractérisation du transport réactif de l'oxygène, à partir de tests de traçage (Kang et al., 2015). Le principe est d'injecter de l'oxygène dissous directement dans l'aquifère, et de suivre la concentration en oxygène dissous dans le milieu au cours du temps. La forme de la courbe obtenue est indicatrice des paramètres physiques du milieu traversé, de l'affinité du traceur pour le milieu mais aussi de la réactivité du milieu. L'interprétation de ces courbes par des modèles réactifs est donc riche en information sur le comportement de l'oxygène dans les milieux aquifères. L'étudiant pourra s'appuyer sur des tests de traçage déjà réalisés, mais pourra également participer à des expériences de traçage sur le terrain.
- ❖ L'utilisation de la composition isotopique de l'oxygène comme traceur des processus qui en modifient sa concentration (Mader et al., 2017). En effet, la respiration bactérienne entraîne un enrichissement en  $^{18}\text{O}$  de l'oxygène dissous, tandis que l'effet inverse est observé lors de la diffusion de l'oxygène. Pour cela, des campagnes de mesure des compositions isotopiques de l'oxygène dissous seront réalisées sur le terrain.

Les campagnes de terrain seront effectuées dans les sites du réseau H+ (Réseau national des sites de recherche en hydrogéologie <http://hplus.ore.fr>) et du réseau européen ENIGMA (<https://enigma-itn.eu/>). Une participation à une mission en Colombie pourra être envisagée dans le cadre d'un projet de coopération en cours. L'étudiant(e) sera encadré(e) et travaillera en collaboration avec Camille Bouchez (post-doctorante), Thierry Labasque (ingénieur de recherche) et Tanguy Le Borgne (chercheur) de l'université de Rennes 1. Il ou elle sera accueilli(e) au laboratoire Géosciences Rennes pendant la durée de son stage. Le stage pourra être suivi d'une thèse.

## References

- Bochet, O., Bethencourt, L., Dufresne, A., Pedrot, M., Farasin, J., Labasque, T., Chatton, E., Lavenant, N., Petton, C., Abbott, B.W., Aquilina, L., Le Borgne, T., submitted. Fractures sustain dynamic microbial hotspots in the subsurface. *Nature Geoscience*.
- Brandt, T., Vieweg, M., Laube, G., Schima, R., Goblirsch, T., Fleckenstein, J.H., Schmidt, C., 2017. Automated in Situ Oxygen Profiling at Aquatic–Terrestrial Interfaces. *Environmental Science & Technology* 51, 9970–9978. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01482>
- Chapelle, F., 1993. Ground-water microbiology and geochemistry. John Wiley & Sons.
- Geiger, S., Emmanuel, S., 2010. Non-Fourier thermal transport in fractured geological media. *Water Resources Research* 46. <https://doi.org/10.1029/2009WR008671>
- Green, C.T., Jurgens, B.C., Zhang, Y., Starn, J.J., Singleton, M.J., Esser, B.K., 2016. Regional oxygen reduction and denitrification rates in groundwater from multi-model residence time distributions, San Joaquin Valley, USA. *Journal of Hydrology*, RESIDENCE TIMES IN SUBSURFACE HYDROLOGICAL SYSTEMS: Signature of hydrological processes and impact on environmental applications 543, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.018>
- Kang, P.K., Borgne, T.L., Dentz, M., Bour, O., Juanes, R., 2015. Impact of velocity correlation and distribution on transport in fractured media: Field evidence and theoretical model. *Water Resources Research* 51, 940–959. <https://doi.org/10.1002/2014WR015799>
- Mader, M., Schmidt, C., van Geldern, R., Barth, J.A.C., 2017. Dissolved oxygen in water and its stable isotope effects: A review. *Chemical Geology* 473, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.10.003>