



# ÉCOLE DOCTORALE

## SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

ed560.stepup@u-paris.fr

---

**Titre du sujet : Mécanismes de concentration des éléments métalliques dans les eaux souterraines hyper-alcalines du Delta de l'Okavango : rôle et origine de la matière organique dissoute.**

Directeur : **JOLIVET MARC, DR CNRS, jolivet@ipgp.fr**  
Co-directeur : **MARSAC Rémi, CR CNRS, HDR, marsac@ipgp.fr**  
Equipe d'accueil : **IPGP- Equipes Tecto. et ACE – UMR7154**

Financement : **Contrat doctoral avec ou sans mission d'enseignement**

---

### Développement du sujet :

La zone humide du **Delta de l'Okavango** (Botswana), classée au Patrimoine Mondial de l'UNESCO depuis 2014, est une réserve unique de faune et de flore. Situé au sein du désert du Kalahari, au centre du plateau sud-africain, cet oasis de biodiversité est étroitement lié à la crue annuelle de la rivière Okavango qui y amène l'eau de pluie depuis les plateaux de l'Angola quelques 800 km plus au nord. Difficile d'accès et très protégé, le Delta de l'Okavango est resté largement vierge de toute influence humaine, représentant ainsi un laboratoire naturel inégalé pour l'étude des zones humides tropicales en domaine semi-aride. Comprendre le fonctionnement du Delta est d'autant plus important que ces écosystèmes en équilibre instable réagissent rapidement aux changements globaux en cours. L'histoire géologique récente (quaternaire) de cette région illustre parfaitement cette réactivité. Au début du Quaternaire, le centre du plateau sud-africain abritait un immense lac, sans doute le plus grand d'Afrique. Les changements dans le système hydrique induits par les mouvements tectoniques régionaux ainsi que l'aridification du climat ont conduit à un assèchement complet du lac à l'Holocène, laissant une épaisse couche de sel. Les sédiments apportés par la rivière Okavango sont venus recouvrir une partie de la zone lacustre, créant le cône alluvial qui porte aujourd'hui la zone humide.

Depuis plusieurs années, l'équipe du projet Alkaline Wetlands, financé par le CNRS, s'attache à étudier les relations étroites entre la géologie, le cycle de l'eau, la biodiversité et plus récemment les populations humaines dans et autour du Delta. Si l'eau qui alimente le Delta est légèrement acide et très pauvre en éléments dissous, **la nappe phréatique de sub-surface** (environ 3 m sous la surface) est, elle, très alcaline (pH = 8 – 10). Nous avons montré que cette eau, riche en matière organique (dissoute et colloïdale), **est naturellement polluée par des concentrations très fortes en métaux et métalloïdes**, notamment As (jusque 140 ppm), V, Pb, Ga, U, etc. Une partie de ces éléments remontent en surface et se déposent dans l'environnement sous forme de sels (natronite), à leur tour, lessivés par les eaux de crue. Dispersés dans l'environnement ces fortes concentrations d'éléments toxiques posent un **problème environnemental et de santé humaine majeur que l'on commence seulement à mesurer**.

**Quelle est la spéciation des métaux et métalloïdes dans ces eaux ? Sont-ils associés à la matière organique ou aux carbonates dissous ? Quel est l'origine de cette matière organique ? Est-elle liée à la production organique de surface, est-elle autochtone d'origine microbienne ou est-elle d'origine « fossile » héritée de la fin de la phase lacustre et piégée dans le cône alluvial ? Quelle est sa réactivité vis-à-vis des métaux et métalloïdes ?** En effet, l'âge et l'origine de la matière organique peuvent affecter sa réactivité vis-à-vis des métaux et métalloïdes (teneurs en groupements fonctionnels complexants comme les carboxyliques, phénoliques, thiols...). Cette thèse s'attachera à répondre à ces **questions cruciales, indispensables à la compréhension des interactions eau-sédiment-biosphère au sein du Delta mais aussi à l'évaluation du risque sanitaire que pose cette eau pour les populations humaines locales**.

Afin de caractériser la matière organique et sa réactivité vis-à-vis des métaux et métalloïdes, différentes approches sont envisagées, notamment des techniques basées sur :

- la spectroscopie d'absorption et de fluorescence dans l'UV-vis, infrarouge, ou d'absorption des rayons X au synchrotron, afin de caractériser les groupements fonctionnels,
- le fractionnement des composés/colloïdes organiques selon la taille comme la chromatographie d'exclusion (SEC), l'ultrafiltration ou le fractionnement par couplage flux-force (FFF);
- l'analyse moléculaire par spectrométrie de masse,
- l'analyse élémentaire (analyse TOC) et isotopique ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ),
- l'analyse des communautés microbiennes,
- la modélisation de la spéciation géochimique des métaux et métalloïdes, intégrant leurs interactions avec la matière organique. Des analyses des teneurs en métaux et métalloïdes seront réalisées en

parallèle de cette thèse par l'équipe Nanoscale de l'unité Géosciences Rennes, co-porteuse du projet Alkaline Wetlands.

Ces analyses nécessiteront la mise en place et le développement de protocoles d'échantillonnage (1 à 2 missions/an sont prévues au Botswana), et de préparation des échantillons appropriés.

Le projet Alkaline Wetlands est largement multidisciplinaire et implique des chercheurs de l'IPG Paris, de Géosciences Rennes et de l'Okavango Research Institute de Maun (Botswana). Le travail de thèse proposé ici se fera en parallèle d'une seconde thèse débutée en 2024 qui s'attache à caractériser chimiquement les sels déposés à la surface et à analyser la manière dont ces derniers sont assimilés par la flore afin de déterminer l'impact du relargage de ces grandes quantités d'éléments toxiques dans l'environnement.

### **Profil du candidat recherché**

Formation scientifique niveau **Master 2 ou diplôme d'ingénieur en (géo)chimie de l'environnement**. Des compétences en chimie/géochimie analytique et/ou en modélisation seront un plus. Les travaux impliqueront **des missions de terrain de plusieurs semaines dans des zones difficiles d'accès et avec présence d'une méga-faune sauvage**. Une **bonne capacité de travail et de vie en groupe est requise**. Les échanges avec les collègues botswanais se font uniquement en **anglais et une bonne maîtrise orale de cette langue est donc indispensable**.

Le/la candidat(e) sera rattaché(e) à l'équipe Tectonique et Mécanique de la Lithosphère (IPG Paris) en interaction avec l'équipe ACE de l'IPGP ainsi qu'avec l'équipe Nanoscale de Géosciences Rennes et l'Okavango Research Institute de Maun.

La sélection du candidat se fera en 3 étapes.

1-Le dossier de **candidature à envoyer avant le 01/05 à 12h** à l'équipe d'encadrement est constitué d'un CV détaillé et d'une lettre de motivation, à compléter avec les relevés de notes de la Licence, Master (ou diplôme équivalent), incluant les rangs de classement et effectif de la promotion, et une ou deux lettres de recommandation.

2-Les candidats présélectionnés sur dossier seront **auditionnés par l'équipe d'encadrement le 07/05**. L'équipe d'encadrement reste disponible pour tout échange en dehors de cette date.

3-Le candidat présélectionné devra défendre le sujet et son dossier/profil scientifique à l'**oral les 4/06 ou 5/06 devant un jury de l'École doctorale STEP'UP**.