







## Journée Scientifique METIS 9 Décembre 2021

Centre International de Conférences SU Barre 44-45, 1<sup>er</sup> étage





#### PROGRAMME: Présentations orales et pauses convivialité/poster

8h45-9h15 : Accueil café 8h45-9h15 : Introduction

9h30-10h00 : Groupe DD climaction, A propos du bilan CO2 de l'unité

10h00-10h20: Rusagara et al., Groundwater Recharge Mechanisms in Crystalline Basement Aquifer under Sahelian Climate Conditions of West Africa: Case study of Tougou catchment, Burkina Faso

10h20-10h40 : **Collin** et *al.*, Les limites de l'application du TEX86 aux archives terrestres : étude de la réponse du lipidome des archées du sol à la température à l'échelle du microorganisme source

10h40-11h00: Mon poster en 60 secondes

11h00-11h30: Pause café/Posters

11h30-12h15 : Gascoin (conférence invitée), Télédétection de la houille blanche

12h15-13h30 : Pause déjeuner/Posters

13h30-14h15 : Jacob (conférence invitée), Les égouts : miroir et archive de notre quotidien

14h15-14h35 : **Quénéa** et *al.*, Investigation de la structure poreuse dans les sols et les turricules de vers de terre pour la compréhension des transferts de fluide et de l'activité microbienne dans les sols

14h35-14h55: **Nkitnam** et *al.*, Electrical resistivity tomograghy structure of the Gallo-Roman Sanctuary Site des Vaux de la Celle, Genainville, France

14h55-15h15: Yan et al., Reservoirs change pCO<sub>2</sub> and water quality of downstream rivers: evidence from three reservoirs in the Seine Basin.

15h10-15h30 : Pause café

15h30-15h50 : Le Moine et Mahdade., Apports de l'imagerie aérienne pour l'estimation de la profondeur des cours d'eau.

15h50-16h10 : **Thiesson** et *al.*, Les Jardins de l'archevêché à Bourges : intégration de la géophysique à l'évaluation du potentiel archéologique des territoires urbains

16h10-16h30 : **Loiseau** et *al.*, Mise en relation de l'évapotranspiration aux variations de gravité au pas de temps quotidien à l'aide de deux gravimètres supraconducteurs répartis verticalement

16h30-16h50 : **Thiebault** et *al.*, Enregistrement des contaminants organiques traces dans une carotte sédimentaire, qu'indiquent les dynamiques temporelles ?

16h50-17h30 : Clôture et remise de prix (meilleur poster)



#### PRESENTATIONS POSTERS

- **1. Pedro Arboleda.** Exploring the effects of an improved irrigation scheme in ORCHIDEE land surface model on Europe's land surface hydrology and energy budget.
- 2. Salomé Bertone, Sylvie Collin , Antoine Fayeulle. Compréhension et amélioration des mécanismes intervenant dans la bioremédiation du benzo[a]pyrène dans les sols par le champignon Talaromyces helicus.
- 3. Alienor Allain, Marie Alexis, M.C. Bridoux, D. Payandi-Rolland, L.S. Shirokova, O.S. Pokrovsky, Maryse Rouelle. Processus de biodégradation de la matière organique dissoute provenant de différentes sources végétales Arctiques.
- 4. Damien Jougnot, Emily Voytek, Bertille Loiseau, Simon Damien Carrière, Cédric Champollion, Nolwenn Lesparre, Alexis Maineult. Monitoring water flow in the critical zone using self-potentials: toward the quantification of rain infiltration and evapotranspiration.
- 5. Vincent Thieu, Antoine Casquin, Marie Silvestre, Goulven Laruelle, Josette Garnier, Gilles Billen. Apports d'une modélisation intégrée Terre-Mer dans la coconstruction de scenarii territorialisés pour limiter l'eutrophisation du littoral français.
- 6. Rania Krimou, Sylvie Collin, Emmanuel Aubry, Mercedes Mendes-Millan, Caroline Kunz et Thanh Thuy Nguyen Tu. Rôle des champignons sur les transformations de la matière organique des sols : Premiers résultats d'une expérience de dégradation de litières marquées au <sup>13</sup>C.
- 7. Anne Jost, Adem-Ilyes Chader, Nicolas Flipo, Fulvia Baratelli, Romane Nespoulet. Variability of interactions between groundwater, rivers and gravel pit lakes in the Seine alluvial plain of La Bassée, France.
- 8. Marc Dumont, Febriwan Mohamed, Roger Guérin, Valérie Plagnes et al.. Apport des tomographies de résistivité électrique à la compréhension des aquifères artésiens d'un stratovolcan andésitique.
- **9. Alexis Maineult, Nicolas Florsch**. Sur une nouvelle méthode de détermination des distributions de temps de relaxation.
- 10. Marie Arnaud, Gilles Duquenoy, Frédéric Delarue, Maryse Rouelle, Julien Thiesson, Katell Quenea. Élaboration et mise en place d'un plan de bioremédiation d'un site d'Ile-de-France.
- 11. Pierre L'Hermite, Valérie Plagnes, Anne Jost, Michael Descostes. Etude et modélisation hydrogéologique d'un site de stockage de résidus miniers et impact du changement climatique.
- **12. Hugo Potier, Maryse Rouelle, Marie Alexis.** *Mission de Terrain du projet INCEPTION.*
- **13. Alexis Maineult, Grigory Gurin, Konstantin Titov.** *Réseaux d'impédances complexes pour simuler la chargeabilité de mélanges sable-pyrite.*



#### RESUMES DES PRESENTATIONS

Groundwater Recharge Mechanisms in Crystalline Basement Aquifer under Sahelian Climate Conditions of West Africa: Case study of Tougou catchment, **Burkina Faso** 

RUSAGARA Radegonde<sup>1,2</sup>; KOÏTA Mahamadou<sup>1</sup>; PLAGNES Valérie<sup>2</sup>; JOST Anne<sup>2</sup> Laboratoire de l'Eau, HydroSystèmes et Agriculture (LEHSA), Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), Ouagadougou, Burkina Faso
<sup>2</sup> Sorbonne Université, CNRS, EPHE, Metis, 75005 Paris, France

Groundwater recharge rates data in rural Sahelian zones leaning on crystalline basements are sparse due to insufficient knowledge on groundwater recharge mechanisms. This study was initiated in the ephemeral river catchment of Tougou (37 km<sup>2</sup>) and aimed at improving the understanding of groundwater recharge mechanisms in the crystalline basement under the Sahelian climate of Burkina Faso/West Africa. It is based on the field investigations conducted from 2016 to 2020 on a piezometric transect perpendicular to the river and large-diameter wells longitudinal to the river. Different methods, including geophysical methods, drilling, permeability tests, groundwater monitoring, river water levels, and rainfall measurements, were adopted. The cross-correlation r (x, y) was assessed between the groundwater levels and the input signals (river water levels and rainfall). The results showed a laterally continuous clayey saprolite aquifer (10-22 m thick) overlaid by residual soils beneath the river and discontinuous laterite on the banks. A groundwater mound in the saprolite below the river is observed, with a rapid response (1 day) to both input signals, but the river influences the most the water table fluctuations (maximum r(x, y) = 0.56 with the river and 0.45 with the rainfall). The groundwater electrical conductivity and temperature variation confirmed the river as a recharge source. The water table within the saprolite is always below the riverbed (mean depth to water = 8.9 m), highlighting uni-directional hydraulic connectivity. The saprolite beneath the river vertically replenishes the semi-confined weathered schist below, and laterally, the saprolite on the banks. The pressure redistribution from the river is limited at 160m on the left bank and 600m on the right bank. Direct recharge probably occurs on both banks but to a lower extent for the schists on the right bank than the basic metavolcanic rocks on the left bank. Groundwater flows from upstream to downstream.



#### Electrical resistivity tomograghy structure of the Gallo-Roman Sanctuary Site des Vaux de la Celle, Genainville, France

Elijah E. Nkitnam<sup>1, 3</sup>, Alexis Maineult<sup>1</sup>, Jérôme Wassermann<sup>2</sup> and Roger Guérin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>METIS - UMR 7619, Sorbonne Université, Paris, France

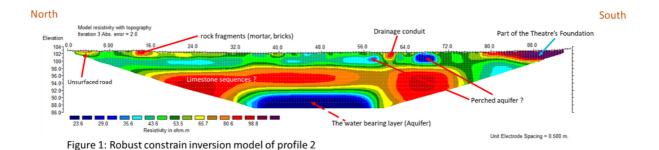
We report the results of 2D electrical resistivity tomography profiles acquired at the Gallo-Roman site of the Vaux de la Celle (located in the French Vexin half way between Rouen and Paris), using robust constrain inversion method, to image the geological sequences, groundwater systems and vestiges.

The apparent resistivity data of the subsurface beneath the surveyed lines were acquire with Wenner-Schlumberger array with small electrode spacing (40 cm or 100 cm).

In this investigation, the robust constrained inversion models provide enhanced definition of features (Figure 1). Inverted resistivity models (with a RMS  $\leq$  2%) of the subsurface allowed the identification of shallow and deeper conductive beds and structures interpreted as permeable water bearing beds and structures. Saturated silt and sands beds (12 - 24  $\Omega$  m) and surface aquifers are readily identify at 1 - 2 m depths, whereas delineated resistive features (90 - 124  $\Omega$  m) between 10 -18 m positions of the profile were identify as paved surface way at < 1m depths.

At the southern end of profiles 2, the resistive feature (98 - 138  $\Omega$  m), interpreted as part of the theatre foundations (Figure 1), extent from the surface to about 2.5m deep. An extensive moderately resistive bed (48 - 57  $\Omega$  m) interpreted as marls and clays underlain the near surface heterogeneities. This low permeability bed overlain the thick, 3.5 - 12.5 m, Lutetian limestone sequence (70 - 110  $\Omega$  m). The limestone bed is underlain by a conductive bed (12 - 24  $\Omega$  m) interpreted as a deeper aquifer at 14-16 m depths.

We thus infer, in the events of prolonged or intense rainfall, the thin sequence of sands and silts overlying the low permeability strata of marls, clays and limestone readily get saturated, leading to the emergence of groundwater at the surface. The imaged Gallo-Roman level and theatre foundation gives credence to historical and cultural deposits and objects dated to the period of the site occupation.



metis UMR 7619

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>L2MGC, CY Cergy Paris Université, Cergy-Pontoise, France

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Department of Geology and Geophysics, Alex Ekwueme Federal University, Ndufu-Alike, Nigeria

#### Télédétection de la houille blanche

Simon Gascoin<sup>1</sup>

1 Centre d'Etudes spatiales de la Biosphère

Cet exposé vise à présenter deux nouvelles applications dans le domaine de la télédétection du manteau neigeux de montagne développées au Cesbio au cours des cinq dernières années



#### Les égouts : miroir et archive de notre quotidien

Jérémy Jacob<sup>1</sup>

1 laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement

Le projet ANR EGOUT préfigure un observatoire pérenne des pratiques urbaines à Paris. Il est fondé sur l'étude des matières qui transitent et s'accumulent dans les réseaux d'assainissement. Après avoir évoqué le cheminement qui amené paléoenvironnementaliste à s'intéresser au milieu urbain et à transposer ses approches à des temporalités inédites couplant observation et rétro-observation, je présenterai les résultats de l'analyse des eaux et sédiments dans le réseau d'assainissement d'Orléans, dans le cadre du projet "Golden Spike". J'évoquerai ensuite les objectifs du projet EGOUT, et la construction de sa stratégie qui repose fortement sur la prise en compte de l'avis de l'ensemble des acteurs (laboratoires de recherche académique, citoyens, pouvoirs publics, opérateurs...). Le projet étant largement participatif et ayant vocation, à terme, à agréger de nombreux acteurs, je serai enfin à l'écoute de vos idées et propositions de développement.



#### Investigation de la structure poreuse dans les sols et les turricules de vers de terre pour la compréhension des transferts de fluide et de l'activité microbienne dans les sols

K. Quenea<sup>1</sup>, C. Davy<sup>1,2</sup>, P.M. Adler<sup>1</sup>, J. Hosdez<sup>3</sup>, L. Le Callonec<sup>4</sup>

- 1 Laboratoire Metis, Sorbonne université
- 2 Unité de Catalyse et Chimie du Solide, Ecole Centrale de Lille
- 3 unité de mécanique de Lille, Université de Lille
- 4 Laboratoire ISTEP, Sorbonne université

L'organisation spatiale des constituants organiques et minéraux du sol apparait déterminante pour la dynamique de la matière organique (MO). En effet la dégradation de cette MO est conditionnée par son accessibilité aux micro-organismes et à leur activité. En conséquence, la porosité du sol permettant la circulation de l'eau, des gaz et des organismes est un facteur de contrôle de la minéralisation de la MO. Les vers de terre sont connus comme étant des ingénieurs de l'écosystème. Ils ont un rôle important sur la structuration du sol, que ce soit par la création de galeries ou la production de turricule<sup>5</sup>. Si leur rôle à l'échelle de la parcelle ou de la colonne de sol a été étudié.<sup>7</sup>, leur effet sur la porosité du sol à l'échelle du turricule reste à déterminer. La caractérisation de la structure du sol et de ses agrégats reste difficile. Depuis quelques années, la micro-tomographie de rayons X a été utilisée en sciences du sol afin d'étudier la structure porale du sol ou plus précisément d'agrégats et de tenter de faire un lien avec l'activité bactérienne.

Ce projet se base sur des images originales de sols et de turricules de la région parisienne, obtenus par micro-tomographie de rayons X. En complément, les sols sont analysés (granulométrie, teneur en C et N, etc.). A partir de ces mesures, l'objectif est de quantifier différents paramètres, définissant l'espace poral dans des turricules de vers de terre, puis de les comparer à celles du sol sous-jacent afin de caractériser ces deux milieux d'un point de vue structural, et de modéliser les transferts de fluides afin d'en discuter les conséquences potentielles sur l'activité microbienne. La comparaison aux paramètres du sol permettra d'interpréter les paramètres obtenus par imagerie, avant et après passage des vers.

Plus précisément, des turricules et des sols ont été prélevés sur trois sites distincts. Leur organisation spatiale a été caractérisée par micro tomographie et comparée aux paramètres du sol. Par la suite, le fichier numérique du milieu poreux obtenu par la tomographie peut être traité de trois manières différentes. La porosité fermée a été éliminée et les propriétés de percolation sont obtenues au préalable. Ensuite, par amincissement conditionnel de l'espace des pores, l'équivalent du squelette de cet espace peut être obtenu. Le milieu physique peut ainsi être caractérisé par l'estimation du nombre des pores, de la connectivité, la valeur maximale du rayon des sphères pouvant traverser les pores. Ces informations permettent d'évaluer le potentiel de circulation des microorganismes et de la MO dissoute et donc d'accessibilité à la matière organique au sein du sol d'une part et des turricules d'autre part. La pénétration des milieux par des objets de taille donnée a été calculée par porosimétrie approchée de l'espace des pores, obtenue par un processus d'invasion de l'espace poreux par des sphères de rayon déterminé à partir d'une face pour chaque échantillon, afin d'évaluer les conséquences sur le devenir de la MO présente dans ces structures. Quelques exemples de traitement de sols et des turricules dans ces mêmes sols seront illustrés et discutés.



#### Reservoirs change pCO<sub>2</sub> and water quality of downstream rivers: evidence from three reservoirs in the Seine Basin

Xingcheng Yan<sup>1\*</sup>, Vincent Thieu<sup>1</sup>, Benjamin Mercier<sup>1</sup>, Anunciacion Martinez<sup>1</sup>, Romane Nespoulet<sup>1</sup>, Josette Garnier<sup>1</sup>

The global increase in the construction of reservoirs has drawn attention given its documented impacts on hydrological and biogeochemical processes on river networks. In this study, the interactions of three reservoirs in the Seine Basin with their upstream and downstream rivers were evaluated based on monthly records of water quality and pCO<sub>2</sub> (partial pressure of carbon dioxide) in two hydrological years. The seasonal variations of water quality in the reservoirs were mainly driven by the water entering reservoirs and the biogeochemical processes occurring in the reservoirs. Our results unravel the crucial role of reservoirs in downstream water quality, which significantly increased DOC (dissolved organic carbon) and BDOC (biodegradable organic carbon) concentrations, while lowered DSi (dissolved silica) concentrations during emptying period (p < 0.01). Furthermore, the impacts of reservoirs on the annual fluxes of DOC, BDOC, and DSi were also quantified and suggested that these three reservoirs increased 15%-21% and 5%-50% of annual fluxes of DOC and BDOC, while decreased 9%-14% of annual DSi fluxes in their downstream rivers. Additionally, the reservoirs also effectively decreased downstream riverine pCO<sub>2</sub> (p < 0.01), and enhanced the gas transfer coefficient of CO<sub>2</sub> in downstream rivers by 1.3 times during the emptying period. which highlights the necessity to consider the potential impact of reservoirs on riverine CO<sub>2</sub> emissions. Overall, our results highlight the importance of the combination of biogeochemical and hydrological characteristics to understand the biogeochemical functioning of reservoirs to downstream rivers, and also emphasize that sufficient attention should be paid in future studies under the context of increasing reservoir constructions.



<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Sorbonne Université, CNRS, EPHE, UMR 7619 METIS, 4 place Jussieu, Box 105, 75005, Paris, France

## Les limites de l'application du TEX<sub>86</sub> aux archives terrestres : étude de la réponse du lipidome des archées du sol à la température à l'échelle du microorganisme source

Sylvie Collin<sup>1</sup>, Sarah Coffinet<sup>2,3</sup>, Claudia Zell<sup>4</sup>, Sylvie Derenne<sup>1</sup>, Martin Könneke<sup>2,5</sup>, Arnaud Huguet<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UMR METIS Sorbonne Université, CNRS, EPHE, F-75005 Paris, France

<sup>2</sup>MARUM – Center for Marine Environmental Sciences, Univ. of Bremen, 28359 Bremen, Germany

<sup>3</sup>Current address: UMR 6553 UR1-CNRS Laboratoire ECOBIO, F-35042 Rennes, France

<sup>4</sup>Current address: Eurofins, D-52078, Aachen, Germany

<sup>5</sup>Current address : Institute of Chemistry and Biology of the Marine Environment, Oldenburg Univ., Germany

Les archées sont des microorganismes abondants dans les environnements aquatiques et terrestres. L'analyse de leurs lipides dans des sédiments marins a conduit à l'élaboration d'un proxy de température de surface des océans, le TEX<sub>86</sub> (Tetraether Index of 86C carbon atoms), basé sur le rapport de certains lipides ayant un degré de cyclisation plus ou moins élevé, produits essentiellement par le phylum *Thaumarchaeota* (1). Si ce proxy s'est depuis affiné, en particulier par des calibrations locales, la relation exacte entre la température et le TEX<sub>86</sub> reste encore à ce jour mal connue. Plusieurs études ont montré que des facteurs internes (taux de croissance, souche/isolat) et externes (teneur en O<sub>2</sub>) influent sur les profils lipidiques et sur le proxy (2,3). L'application du TEX<sub>86</sub> aux milieux terrestres reste aujourd'hui à évaluer (e.g 4), en particulier parce que les profils taxonomiques des sols sont différents des profils marins. L'objectif de ce travail était de mieux comprendre comment les *Thaumarchaeota* (Ta) du sol adaptent leur membrane à la température extérieure via des modifications de leur composition lipidique.

Pour ce faire, une double approche a été mise en place sur deux types de sols. Les résultats présentés concernent un sol issu de la rhizosphère d'un tilleul situé au cœur de Paris. Choisi pour sa richesse potentielle en thaumarchées, ce sol a été étudié selon sa profondeur (10-30 cm ou 30-50 cm) et a permis de procéder à des enrichissements en thaumarchées en cultures liquides, dont les profils lipidiques ont été établis à 30°C, 37°C et 42°C. En parallèle, des études en microcosmes ont été mises en place pour avoir une image globale du profil adaptatif phylogénétique et lipidique aux mêmes températures. Les résultats confirment que dans les sols choisis les thaumarchées représentent presque 100% la population archéenne, ce qui a favorisé leur étude. Une analyse par enrichissement en milieu liquide a permis d'obtenir des cultures très enrichies dont une affiliée à Nitrososphaera gargensis. L'augmentation de la température entre 30 et 42°C entraîne chez les Nitrososphaera sp. une augmentation de l'indice de cyclisation des tetraéthers, ainsi qu'une modification de la répartition des têtes polaires sur ces lipides, ce qui suggère une double régulation sur la partie hydrophobe et sur les têtes polaires en surface de la membrane cytoplasmique. Le profil lipidique de Nitrososphaera gargensis n'étant pas identique à celui d'autres Ta du sol telles que N. viennensis, et les enrichissements ne conduisant pas aux mêmes espèces à 30-37°C et à 42°C, les résultats sont à évaluer au regard des résultats obtenus sur les souches enrichies de compost à 37°C et 50°C (Collin et al, non publié). L'analyse par profondeur montre une répartition différente des OTU (unités taxonomiques opérationnelles) affiliées à Nitrosphaera entre 10-30 et 30-50cm, avec un indice de cyclisation initial plus élevé à 30-50cm. La réponse à la température conduit à la même situation qu'à partir de l'échantillon 10-30cm, avec enrichissement de N. gargensis à 42°C et une augmentation de l'indice de cyclisation avec la température et le temps, ce qui confirme les mécanismes adaptatifs identifiés plus en surface.

#### Références

- 1. Schouten S, Hopmans EC, Schefu□□E, Sinninghe Damsté JS (2002) Earth Planet Sci Lett 204, 265-274
- 2. Hurley S, Elling FJ, Könneke M, Buchwald C et al (2016) Proc Natl Acad Sci USA 113, 7762-7767
- 3. Qin W, Carlson LT, Armbrust EV, Devol AH et al (2015) Proc Natl Acad Sci USA 112, 10979-10984
- 4. Coffinet S, Huguet A, Williamson D, Fosse C, Derenne S (2014) Org Geochem 68, 82-8



#### Apports de l'imagerie aérienne pour l'estimation de la profondeur des cours d'eau

Nicolas LE MOINE<sup>1</sup>, Mounir MAHDADE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR Metis, Sorbonne Université/CNRS/EPHE

La connaissance de la bathymétrie est essentielle pour la modélisation hydraulique des systèmes fluviaux, que ce soit pour la prévision d'inondation, l'étude du fonctionnement géomorphologique et sédimentaire, ou la caractérisation des habitats piscicoles. Les pratiques standard reposent sur l'interpolation, le long du cours d'eau, de profils en travers levés *in situ* par GPS différentiel ou station totale, tandis que des applications plus avancées utilisent le LiDAR bathymétrique (vert) ou des sondages acoustiques pour une plus haute résolution spatiale. Cependant, ces méthodes actives ne sont pas facilement déployables sur de larges zones. Les méthodes utilisant l'imagerie optique passive offrent une alternative intéressante : elles se basent sur le fait que les longueurs d'onde composant le rayonnement solaire ne sont pas toutes atténuées au même rythme à la traversée de la colonne d'eau. Sous certaines conditions, le logarithme du ratio des radiances entre deux bandes spectrales bien choisies d'une image, peut être correlé linéairement à la profondeur. Dans cette étude, nous proposons une approche généralisant ces méthodes de ratios, en définissant une *teinte multispectrale* qui conserve l'ensemble de l'information spectrale tout en s'affranchissant des variations d'intensité d'illumination et des réflections spéculaires dans une scène.

Pour une image comportant n bandes co-enregistrées, cet invariant se positionne sur l'hypersphère unité  $\mathbb{S}^{n-2}$  incluse dans  $\mathbb{R}^{n-1}$ . Cette hypersphère des teintes est la généralisation, dans le domaine multispectral, du cercle chromatique associé à l'espace trichromatique RVB : formellement, la teinte est une direction (vecteur unitaire) dans  $\mathbb{R}^{n-1}$ , possédant (n-2) degrés de liberté. Cela permet une modélisation statistique de la variable aléatoire ainsi définie, à l'aide de distributions directionnelles de type Fisher-Bingham-Kent. Nous utilisons cet espace pour identifier une relation teinte-profondeur sur un tronçon de 35 km de la Garonne, à l'aide d'images aériennes haute résolution (0,50m) dans 4 bandes (Proche Infrarouge, Rouge, Vert et Bleu) et de données de calibration sur 120 profils levés *in situ*. La distribution de la teinte multispectrale des pixels « rivière » est modélisée comme un mélange de deux composantes : une composante représente la distribution de teinte du lit / substrat, tandis que la seconde composante représente la distribution de teinte de « l'eau profonde » ; les paramètres de ce modèle mélange sont optimisés de façon à maximiser la corrélation entre la probabilité *a posteriori* d'appartenance à la composante profonde, et la variable profondeur.



### Les Jardins de l'archevêché à Bourges : intégration de la géophysique à l'évaluation du potentiel archéologique des territoires urbains

Julien Thiesson(1), Mélanie Fondrillon(2), Ludovic Bodet(1), Audey Burzawa(3), Camille Lanéelle(3) Amélie Laurent-Dehecq(4).

- (1) Sorbonne Université, UMR 7619 METIS, case 105, 4 place Jussieu 75005 Paris France <u>ludovic.bodet@sorbonne-universite.fr</u>, <u>julien.thiesson@sorbonne-universite.fr</u>
- (2) Service d'Archéologie Préventive de la Communauté d'Agglomération Bourges Plus, m.fondrillon@agglo-bourgesplus.fr
- (3) Sorbonne Université, UFR Terre Environnement Biodiversité, 4 place Jussieu 75005 Paris France
- (4) Service départemental d'archéologie du Loiret

Avec la diminution des fouilles couvrant de grandes surface en milieu urbain, les archéologues sont plus que jamais confrontés à la question de l'évaluation du potentiel archéologique des espaces urbains. L'étude présentée illustre une façon de répondre à cette question en prenant l'exemple d'un jardin public de la ville de Bourges.

Les Jardins de l'archevêché sont situés à côté de la cathédrale de Bourges. Ils ont subi de nombreux changement d'état avant de se retrouver sous leur forme actuelle. Sans ouverture de fouille) un certain nombre de questions archéologiques émergent :

- 1. Reste t'il des vestiges médiévaux dans la partie nord-est des jardins ?
- 2. Peut on retrouver le tracé du fossé défensif associé à la fondation de *l'oppidum* (2<sup>e</sup> s. av. J.-C.) et à sa mise en défense lors de la guerre des Gaules (milieu du 1<sup>er</sup> s. av. J.-C.) ?

Après des premières études, un modèle archéologique basé sur l'épaisseur des sédiments archéologiques ainsi que les traces d'activités qu'ils contenaient a été proposé servant de prémisses aux études géotechniques et géophysiques.

Trois campagnes de prospections ont été nécessaires (en 2016 lors d'un stage de M1, en 2017 lors d'un stage de terrain de Polytech Sorbonne et en 2019 pour la campagne de nuit) Nous présenterons certains résultats et leur impact sur le modèle archéologique construit par l'archéologue. Nous montrerons également les difficultés de l'intégration entre les données issues de la géotechnique et celle de la géophysique.



## Mise en relation de l'évapotranspiration aux variations de gravité au pas de temps quotidien à l'aide de deux gravimètres supraconducteurs répartis verticalement

Bertille Loiseau<sup>1</sup>, Simon Damien Carrière<sup>1</sup>, Cédric Champollion<sup>2</sup>, Chloé Ollivier<sup>3</sup>, Nicolas Martin-StPaul<sup>4</sup>, Nolwenn Lesparre<sup>5</sup>, Albert Olioso<sup>6</sup>, Jacques Hinderer<sup>5</sup>, Damien Jougnot<sup>1</sup>

- 1 Sorbonne Université, CNRS, EPHE, UMR 7619 METIS, F-75005 Paris, France
- 2 Université de Montpellier, UMR 5243 GM, 34095 Montpellier, France
- 3 IRD, UMR 5126 CESBIO, 31401 Toulouse, France
- 4 INRAE, URFM, 40509 Domaine St-Paul, France
- 5 CNRS, UMR 7063 ITES, 67084 Strasbourg, France
- 6 INRAE, UMR 1114 EMMAH, 40509 Domaine St-Paul, France

L'évapotranspiration (ET) est un terme majeur du cycle de l'eau qui le relie de manière unique avec le cycle énergétique et le cycle du carbone. Elle représente 70% des précipitations renvoyées dans l'atmosphère mais reste l'une des plus grandes sources d'incertitudes dans les projections climatiques. Il est nécessaire de mieux comprendre cette composante et de développer de nouvelles approches afin d'améliorer son estimation. La gravimétrie est une méthode géophysique qui mesure les variations du champ de pesanteur terrestre « q ». Les gravimètres supraconducteurs (SG) fournissent une mesure continue et très précisent de g qui peut être relié aux changements dans le stockage d'eau avec une précision de quelques millimètres. Nous cherchons à évaluer le potentiel de cette approche pour estimer l'ET au pas de temps journalier. Le Laboratoire Souterrain à Bas Bruit (LSBB) a été choisi pour cette étude car c'est l'unique site au monde à disposer de deux SG superposés verticalement : un à la surface et un à environ 500 m de profondeur. Cette configuration unique permet de soustraire le signal en profondeur à celui en surface afin d'obtenir un signal résiduel où tous les effets globaux (par ex., les marées, le mouvement polaire, la charge atmosphérique) ont été supprimés. Il permet ainsi d'atteindre directement la zone où se passe la majorité des variations de stock d'eau dans ce système karstique, dans les 300 premiers mètres sous la surface. Ce signal très net a ensuite été comparé aux valeurs d'ET modélisées à partir du modèle SimpKcET. Dans des conditions favorables (par ex., jours sans pluie), nous avons pu observer une corrélation signifiante entre les variations journalières de gravité et les sorties d'eau de la zone vadose : le débit sous les gravimètres mesuré et l'ET modélisée. Le débit karstique mesuré est relativement constant sur la période sélectionnée ainsi la variation quotidienne du signal de gravité peut être attribuée à la variation quotidienne de l'ET. Cependant, cette approche très prometteuse n'est valable que dans quelques conditions pour des jours sans pluie avec des conditions météorologiques favorables (par ex., sans grandes variations de pression, sans orages). Cette approche est valide avec un résidu de la surface à la profondeur, il est plus difficile d'observer ce type de relation avec un seul SG de surface. Cela nécessiterait de travailler sur l'amélioration du traitement des données de gravimétrie afin de réduire davantage le bruit. Déterminer l'ET à partir de méthodes tel que la gravimétrie est un véritable défi qui se rapproche des limites technologiques et de traitement du signal de la gravimétrie. Notre ambition est maintenant de travailler sur un seul SG afin d'étendre notre méthodologie sur d'autres sites expérimentaux OZCAR disposant de SG dans des contextes différents mais complémentaires : Observatoire du Larzac, Strengbach (Vosges), Djougou (Bénin) ou encore Trappes (zone urbaine).



## Enregistrement des contaminants organiques traces dans une carotte sédimentaire, qu'indiquent les dynamiques temporelles ?

Thomas Thiebault, Fabrice Alliot, Thierry Berthe, Hélène Blanchoud, Fabienne Petit, Elodie Guigon

Certains contaminants organiques traces (TrOCs) peuvent être considérés comme ubiquistes depuis les années 1950. L'étude de leur enregistrement dans une archive sédimentaire permet de mieux comprendre la variation temporelle de la qualité chimique des sédiments, et de faire des hypothèses sur les forçages les plus importants influençant cet enregistrement. Dans cette étude, les teneurs de 41 TrOCs appartenant à différentes types d'usage, (i.e. produits pharmaceutiques et pesticides) ont été étudiées dans une carotte sédimentaire prélevée dans un dock désaffecté le long de la Seine, à Rouen.

Cette carotte, Rhapsodis, couvre une période de 60 ans entre 1944 et 2003, et a bénéficié de travaux antérieurs (ETMs, radioéléments, HAPs, PCBs et PBDEs) mettant en lumière des dynamiques temporelles de contaminations. Parmi les TrOCs recherchés, 23 ont été détectés au moins une fois. Leurs concentrations se situent principalement entre 1 et 10 ng.g<sup>-1</sup> dans la carotte, à l'exception de la tétracycline qui présente des concentrations plus élevées (~ centaines de ng.g<sup>-1</sup>). La datation de la carotte a permis de caractériser les changements intervenus depuis 1945, potentiellement impactés par (i) la connectivité des égouts, (ii) l'amélioration des technologies de traitement des eaux usées, (iii) les modifications historiques dans l'utilisation de chaque TrOC, et (iv) la composition sédimentaire. Dans chaque cas, l'occurrence la plus profonde de chaque TrOC dans la carotte correspondait à sa date d'autorisation de mise sur le marché; ce qui indique le potentiel des TrOCs à être utilisés comme chronomarqueurs. Cette étude révèle également que le compartiment sédimentaire enregistre l'amélioration récente des technologies de traitement des eaux usées dans le bassin versant, malgré une augmentation de la diversité des TrOCs au cours des dernières années.



## Exploring the effects of an improved irrigation scheme in ORCHIDEE land surface model on Europe's land surface hydrology and energy budget.

Pedro F. Arboleda O., Agnès Ducharne, Zun Yin, Philippe Ciais

Irrigation has a strong effect on water and energy budget, as well as on associated biogeochemical cycles. Around 70% of water withdrawal is used for irrigation, and it impacts the rates of evapotranspiration (and the corresponding water budget) as well as the energy partitioning (and the temperature). Besides, it also may affect the streamflow discharges and groundwater storage, as they are the main sources of water. These changes impact also local and regional climate, with some influence on the atmospheric circulation and frequency of hot extremes. And the volumes of irrigation are expected to rise during the next years, due to climate change and population growth.

Inclusion of irrigation in Land Surface Models (LSM), which represent the continental branch of the water cycle in the Earth System Models, has been done for at least twenty years, but newer irrigation schemes keep developing. For example, in ORCHIDEE, the LSM of the IPSL-CM6 Climate Model, a new irrigation module was recently tested over China. It included two irrigation techniques: paddy and flood, which showed good results on simulating irrigation rates, and allowed to analyse the impact on water resources and crops, using offline-mode outputs (Yin et al., 2020).

Here we propose to assess the effects of the irrigation on the land surface hydrology and energy budget over Europe. To do so, we use a simpler version of the scheme from Yin et al., 2020, inside the ORCHIDEE LSM. The proposed scheme only includes the flood technique, but we refine the water demand calculation by adding a definition of root zone, and adjusting the target value to fulfil (in the case of flood, the target value is a given soil moisture in the root zone). We will address the impact of switching-on the irrigation module on water and energy budget using offline simulations, and then we will compare these outputs to observation-based products, to test if the new module computes adequately the irrigation rates, and helps to obtain more realistic simulations. A third step includes to explore the sensitivity of key parameters of the module on the irrigation rates, using additional offline runs. With these elements and the main conclusions from the analysis, we envisage to explore the effects of irrigation over climate (present and future), especially climate extremes, using coupled land surface – atmosphere simulations.

Yin, Z., Wang, X. H., Ottlé, C., Zhou, F., Guimberteau, M., Polcher, J., ... Ciais, P. (2020). Improvement of the Irrigation Scheme in the ORCHIDEE Land Surface Model and Impacts of Irrigation on Regional Water Budgets Over China. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 12(4), 1–20. https://doi.org/10.1029/2019MS001770



## Compréhension et amélioration des mécanismes intervenant dans la bioremédiation du benzo[a]pyrène dans les sols par le champignon *Talaromyces helicus*

Salomé Bertone<sup>a</sup>, Sylvie Collin<sup>b</sup>, Antoine Fayeulle<sup>a</sup>

a Université de technologie de Compiègne, ESCOM, TIMR (Transformations Intégrées de la Matière Renouvelable), Centre de recherche Royallieu - CS 60 319 - 60 203 Compiègne Cedex

b Sorbonne Université, CNRS, EPHE, PSL, UMR METIS, F-75005 Paris, France

En France, 6800 sites pollués ou potentiellement pollués ont été recensé en 2018 par la base de données en ligne BASOL du BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), 31% de ces sites présentent une pollution aux hydrocarbures, et 12 % une contamination par des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Ces polluants organiques représentent une problématique récurrente dans les écosystèmes du fait de leur prévalence, de leur faible biodégradabilité, de leur faible biodisponibilité, de leurs propriétés toxiques et de leur accumulation dans les chaînes alimentaires. En effet, les HAP s'adsorbent sur la matière organique du sol et sont peu biodisponibles, ce qui signifie une moindre exposition aux microorganismes susceptibles de les dégrader. La réhabilitation des sols peut se faire via différents procédés qui sont divisés en quatre grandes familles selon la nature du traitement : procédés physiques, thermiques, chimiques ou biologiques. La bioremédiation est une des techniques les plus prometteuses pour la dépollution des sols impactés par des HAP en raison de son faible coût et de son impact environnemental réduit. Un enjeu important est donc d'améliorer la compréhension de l'accès aux polluants par les microorganismes capables de dégrader ces polluants dans les sols afin d'agir sur leur biodisponibilité. Ainsi, le but du projet de thèse sera de mieux comprendre les processus de bioremediation du benzo[a]pyrene par le champignon *Talaromyces helicus*. Des travaux antérieurs ont montré que le champignon tellurique Talaromyces helicus est capable de dégrader efficacement le benzo[a]pyrène (BaP) aussi bien en culture liquide que dans un sol historiquement contaminé (Fayeulle et al., 2019). La stratégie générale consistera à utiliser des microcosmes de sols afin d'évaluer les paramètres clés permettant l'accès au B(a)P par Talaromyces helicus pour sa biodégradation. Un suivi permettant de déterminer à différentes profondeurs les caractéristiques pédologiques du sol, la dégradation du B(a)P ainsi que le développement du champignon sera réalisé. La cinétique de dégradation du polluant sera suivie par addition de B(a)P marqué au 13C, soit en présence de la flore microbienne endogène, soit en bioaugmentation avec *T.helicus*. Le développement du champignon pouvant modifier certaines caractéristiques pédagogiques du sol, la granulométrie et la porosité des sols seront analysées. Les paramètres du sol ainsi identifiés comme importants dans la bioremédiation du B(a)P permettront de développer des systèmes microfluidiques mimant les microenvironnements du sol lors du processus de biodégradation du polluant. Les systèmes microfluidiques permettent la compartimentation de la source de polluants et de l'inoculum ainsi que la culture et l'observation in vivo du mycélium par microscopie. Ainsi, la culture de *T.helicus* en culture pure ou mixte avec bactéries en systèmes microfluidiques en conditions statiques ou dynamiques (en présence d'un écoulement) nous permettra d'élaborer des modèles de sols afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans l'accès au polluant et son adsorption dans les sols, tout en offrant la possibilité d'une observation de l'incorporation des polluants à l'échelle cellulaire.



### Processus de biodégradation de la matière organique dissoute provenant de différentes sources végétales Arctiques.

A. Allain<sup>1</sup>, M.A. Alexis<sup>1</sup>, M.C. Bridoux<sup>2</sup>, D. Payandi-Rolland<sup>3</sup>, L.S. Shirokova<sup>3</sup>, O.S. Pokrovsky<sup>3</sup>, M. Rouelle<sup>1</sup>

- 1: Sorbonne Université, CNRS, EPHE, UMR METIS, F-75252, Paris, France
- <sup>2</sup>: CEA/DAM Ile-de-France, Bruyères-le-Châtel, 91297 Arpajon, France
- 3: Géosciences Environnement Toulouse, CNRS-UPS-OMP, 31400 Toulouse, France

En Arctique, la végétation est la source primaire de matière organique dissoute (MOD). Sa dégradation par les micro-organismes du sol, fait de celle-ci est un mélange dominé par des molécules dérivées de végétaux et également composée de molécules dérivées de micro-organismes. Du fait du changement climatique, et ses conséquences en Arctique (amplification arctique, évolution de la végétation, fonte du pergélisol), les flux de MOD dans les environnements terrestres arctiques sont modifiés, ayant des répercussions sur les processus biogéochimiques dans lesquelles la MOD est impliquée.

Afin de mieux comprendre comment le changement de végétation observé en Arctique va influencer les flux de MOD, cette étude a pour objectif de 1) suivre l'évolution des propriétés biogéochimiques de lessivas issus de différents végétaux au cours de leur biodégradation, 2) comparer les processus et produits de biodégradation en fonction des espèces végétales, 3) discuter des conséquences que cela peut avoir sur des écosystèmes aux compositions végétales différentes et en évolution.

Pour répondre à ces questions, une expérience de biodégradation de lessivas végétaux (projet « Cuivre » financé par l'appel d'offre interne METIS), en conditions contrôlées (microcosmes) a été mise en place. En préparation de l'expérience, 4 espèces végétales ont été lessivées, à savoir *Cladonia stellaris, Eriophorum vaginatum, Andromeda polifolia*, et *Betula nana*. La souche bactérienne *Pseudomonas aureofaciens*, a été inoculée à ces lessivas puis les réacteurs ont été incubés pendant 7 jours. Les paramètres chimiques (pH et conductivité) et biologiques (biomasse totale, et proportions des communautés microbiennes) ont été mesurés quotidiennement. Après filtration pour isoler la fraction dissoute, les concentrations en Carbone (C), Azote (N), acides organiques, et anions ont été mesurées, ainsi que l'absorbance (UV-Visible). En début et en fin d'incubation, la MOD a également été caractérisée finement grâce à la spectrométrie de masse en haute résolution (HRMS Orbitrap).

Les résultats de cette étude ont permis de mettre en avant une consommation plus importante du carbone organique dissout produit par *C. stellaris* et *E. vaginatum*, comparé à *A. polifolia* et *B. nana*. Les quantités d'anions lessivées étaient spécifiques à chaque espèce, et ces quantités ne semblaient pas varier significativement au cours de la dégradation de la MOD. La production d'acides organiques était également spécifique à chaque végétation, mais la biomasse semblait homogénéiser leurs teneurs au cours de la biodégradation de la MOD. Enfin, l'Orbitrap a permis de mettre en avant des changements de composition moléculaire de la MOD au cours de la biodégradation. Une diminution du nombre de composés détectés (sauf pour *B. nana*) a été observée, ainsi qu'un changement de composition moléculaire. En effet, la consommation des nombreux composés de type aromatiques riches en acides carboxyliques et la production de nombreux composés de type lipidique a été observée pour tous les végétaux, à l'exception de *B. nana* qui présentait une forte production de composés de type acide aminés.

En conclusion, ces résultats ont montré que chaque espèce végétale produisait des lessivas spécifique, dont la composition évoluait fortement au cours de la biodégradation de la MOD. Cette expérience a également montré un phénomène général de consommation rapide et importante de la MOD, avec toutefois une conservation des différences de composition en fonction des espèces de végétaux étudiés. En milieu naturels arctiques, l'évolution de la végétation du fait du changement global pourrait donc avoir des répercussions sur les flux et propriétés de la MOD au sein des sols, et ainsi modifier certains processus, tels que le stockage de C ou l'adsorption de composés inorganiques.



## Monitoring water flow in the critical zone using self-potentials: toward the quantification of rain infiltration and evapotranspiration

Damien Jougnot, Emily Voytek, Bertille Loiseau, Simon Damien Carrière, Cédric Champollion, Nolwenn Lesparre, Alexis Maineult

Characterizing and monitoring water flow in the critical zone is of uttermost importance to understand the water cycle. Water link several process within critical zone from aquifer recharge and solute transfer to eco-hydrology, many eco-systemic services and biogeochemical reactions. However, the in situ quantification of water flow is technically challenging using traditional hydrological methods and numerous gaps of knowledge remain. The self-potential (SP) method is a passive geophysical method that relies on the measurement of naturally occurring electrical field. One of the contributions to the SP signal is the streaming potential, which is of particular interest in hydrogeophysics as it is directly related to both the water flow and porous medium properties. Unlike tensiometers and other point sensors, which use the measurement of state (e.g., matric pressure) at different locations to infer the intervening processes, the SP method measures signals generated by dynamic processes (e.g. water movement). However, the amplitude of the SP signal depends on multiple soil properties which are dependent to soil type, moisture content, and water chemistry (composition and pH). During the last decades, many models have been proposed to relate the SP signal to the water flow. In this contribution, we will present a soil-specific petrophysical model to describe the electrokinetic coupling generated from different water fluxes in the critical zone: rain water infiltration and water uptake from tree-roots. We tested a fully coupled hydrogeophysical approach on a large SP dataset collected in a two-dimensional array at the base of a Douglas-fir tree (Psuedotsuga menziesii) in the H.J. Andrews Experimental Forest in central Oregon, USA. We collected SP measurements over five months to provide insight on the propagation of transpiration signals into the subsurface with depth and under variable soil moisture. The coupled model, which included a root-water uptake term linked to measured sap flux, reproduced both the long-term and diel variations in SP measurements, thus confirming that SP has potential to provide spatially and temporally dense measurements of transpiration-induced changes in water flow. Similar set-ups are being installed on several OZCAR test-sites (Larzac, LSBB, Strengbach). This will allow us to test the approach under different climatic conditions, different soil types and in different ecohydrological systems.



## Apports d'une modélisation intégrée Terre-Mer dans la co-construction de scenarii territorialisés pour limiter l'eutrophisation du littoral français

Vincent Thieu, Antoine Casquin, Marie Silvestre, Goulven Laruelle, Josette Garnier, Gilles Billen

Face à la persistance des problèmes d'eutrophisation côtière, la Directive-Cadre Stratégie pour le Milieu Marin fixe les conditions du bon état des milieux marins et se tourne vers les gestionnaires de bassins versants pour « intégrer vers l'amont » ces objectifs environnementaux et mettre en place des plans d'actions capables de réguler ces apports fluviaux déséquilibrés qui enrichissent et soutiennent des efflorescences algales nuisibles dans les zones côtières..

Si la recherche et en particulier les outils de modélisation biogéochimique peuvent apporter des solutions opérationnelles, ils ne peuvent répondre à ce défi qu'en intégrant la connaissance des acteurs et des gestionnaires qui composent ces territoires depuis les terres agricoles jusqu'au littoral.

Le projet nuts-STeauRY propose le déploiement, inédit à l'échelle de la France, d'une suite de modèles éprouvés représentant la cascade des nutriments et du carbone depuis les pratiques agricoles (modèle GRAFS), le transfert et les transformations dans le réseau hydrographique (modèle pyNuts-Riverstrahler) en incluant les estuaires (modèle C-GEM), jusqu'à la zone côtière. Ces outils offrent (de par leur formalisme) les leviers nécessaires pour pouvoir dialoguer avec les gestionnaires et co-construire des scénarios réalistes et souhaités. Des groupes de travail régionaux composés de chercheurs et d'acteurs territoriaux se constituent progressivement, et vont travailler à identifier les apports terrestres admissibles pour satisfaire au bon état des milieux marins côtiers.

#### Commentaire:

Le projet nuts-STeauRY, financé par l'OFB, a été lancé début 2021 pour une durée de trois ans. Cette communication présentera succinctement l'ambition, les grandes étapes du projet ainsi que les sites pilotes qui seront identifiés pour la tenue des ateliers chercheurs-gestionnaires sur la prospective du continuum Homme-Terre-Mer.

Mots clés: Eutrophisation; Continuum Terre-Mer; Modélisation; Concertation; Prospective



## Rôle des champignons sur les transformations de la matière organique des sols : Premiers résultats d'une expérience de dégradation de litières marquées au <sup>13</sup>C

Rania Krimou<sup>1</sup>, Sylvie Collin<sup>1</sup>, Emmanuel Aubry<sup>1</sup>, Mercedes Mendes-Millan<sup>2</sup> Caroline Kunz<sup>3</sup> et Thanh Thuy Nguyen Tu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UMR METIS Sorbonne Université, CNRS, EPHE, F-75005 Paris, France <sup>2</sup>UMR LOCEAN, IRD, F-93143 Bondy Cedex, France <sup>3</sup>UMR MCAM, MNHN, CNRS, Sorbonne Université, F-75005 Paris, France

Les champignons jouent un rôle crucial dans les sols, notamment car ce sont les seuls à dégrader efficacement la lignine, constituant majeur de la litière. Cette capacité à transformer la matière organique (MO) des sols fait des champignons des acteurs importants du cycle biogéochimique du carbone. Ce poster présente les premiers résultats du projet <sup>13</sup>ChaMOS qui vise à mieux comprendre les mécanismes de transformation des MO par les champignons.

Ce projet est basé sur une expérience de dégradation de litières végétales par le champignon saprophyte *Trichoderma harzianum*. Caractéristique des sols de régions tempérées et plus largement ubiquitaire dans de nombreuses régions du globe, ce champignon dégrade les parois des tissus végétaux grâce à plusieurs enzymes dont l'activité peut être mesurée *in vitro*. Son développement, ainsi que les transformations chimiques de la matière organique apportée comme substrat, ont été suivis par une combinaison de méthodes spectroscopiques et spectrométriques. Un dispositif original de marquage différentiel des litières au <sup>13</sup>C a été mis en place pour tenter de déterminer le compartiment végétal (ligno-cellulose, sucres, ...) à l'origine des produits de dégradation et de biosynthèse du champignon.

Les premières observations et caractérisations chimiques confirment que le champignon modèle s'est bien développé durant l'expérience et qu'il a induit des modifications de la MO extractible à l'eau, compartiment souvent considéré comme un des plus réactifs de la matière organique. De plus, l'analyse isotopique de la MO extractible à l'eau suggère que le champignon a consommé des sucres simples et qu'il a probablement commencé à dégrader des macromolécules comme la lignine ou la cellulose. En parallèle, le suivi de l'activité enzymatique phénol oxydase, impliquée dans la dégradation des composés phénoliques de type lignine, suggère une activité de dégradation associée au champignon dès les premières semaines de l'incubation.

Grand merci à Marie Alexis, Christelle Anquetil, Frédéric Delarue, Joëlle Dupont et Sandrine Lacoste pour leur aide dans le déroulement du projet.



### Variability of interactions between groundwater, rivers and gravel pit lakes in the Seine alluvial plain of La Bassée, France

Anne Jost<sup>1</sup>, Adem-Ilyes Chader<sup>1</sup>, Nicolas Flipo<sup>2</sup>, Fulvia Baratelli<sup>1</sup>, Romane Nespoulet<sup>1</sup>

Hydrological time series analysis is a key asset for understanding hydrosystems' behaviour and characterising their dynamics in response to forcings, wether natural or anthropogenic. It allows the identification of the preponderant factors leading water level fluctuations in each surface and underground water compartments. It relies on *in situ* and high frequency data acquisition. Such a water level monitoring network has been deployed for around 6 years along the alluvial corridor of the upper Seine River. In this lowland wet area, the landscape has been shaped by human activities since the mid nineteenth century and is marked by the river channelisation and the exploitation of sand and gravel. Rivers, oxbow and gravel pit lakes interact with the chalk and alluvial aquifers. The variability of their interactions is here interpreted through the prism of available water level time series. Special emphasis is placed on understanding the dynamics of the numerous gravel pit lakes that are present in the alluvial plain and whose fluctuations will soon be accessible for SWOT satellite observation.



<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Sorbonne Université, CNRS, EPHE, Metis, France

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Université Paris Sciences & Lettres, Mines ParisTech, Centre de Géosciences, France

### Apport des tomographies de résistivité électrique à la compréhension des aquifères artésiens d'un stratovolcan andésitique

Marc DUMONT<sup>1</sup>, Febriwan MOHAMAD<sup>2</sup>, Roger GUÉRIN<sup>1</sup>, Valérie PLAGNES<sup>1</sup> et al.

- 1: Sorbonne Université, CNRS, EPHE, UMR 7619 METIS, 4 place Jussieu, 75005 Paris
- <sup>2</sup>: Faculty of Geological Engineering, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Sumedang, 45363, Indonesia

Sur l'île de Java, en Indonésie, la sécheresse de la saison sèche et la baisse de la qualité des eaux de surface induisent une pression accrue sur les ressources en eaux souterraines pour l'approvisionnement des activités humaines. L'île est composée d'une chaine de stratovolcan orienté d'Ouest en Est. Au pied de ces édifices s'étendent d'importants aquifères artésiens qui constituent une ressource stratégique pour les populations locales. Dans le cadre du projet GPS, deux sites artésiens (Kubang et Lido) ont été étudiés afin de comprendre l'influence de la structure volcanique sur le fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère.

Sur les deux sites, une dizaine de profils ERT ont été acquis en utilisant un dispositif Wenner-Schlumberger de maximum 96 électrodes, avec un espacement minimum entre les électrodes de 10 m (avec un dipôle d'injection taille allant de 30 à 520 m). La stratégie d'acquisition repose sur la validation de l'imagerie autour des sources documentées avant d'étendre vers des structures géomorphologiques d'intérêt. Ainsi, il a été possible de mieux comprendre la structure des aquifères de l'aval vers l'amont afin d'identifier leurs extension ainsi que les zones de recharge potentielles confrontés par la suite à des approches hydrochimiques.

Au droit des deux sources artésiennes, les profils ERT imagent une structure subhorizontale composée d'une couche conductrice de 40-50 m d'épaisseur (<  $20~\Omega$ .m), qui correspond à des lahars et formations détritiques altérées (Figure 1). Elle recouvre un substrat résistant (150-300  $\Omega$ .m) correspondant à des brèches volcaniques, pyroclastes et des grès. Alors que la géophysique met en évidence la cohérence des systèmes inhérents à l'histoire volcanique des édifices andésitiques, elle souligne aussi des divergences d'un système à l'autre. Sur le site de Kubang, le système s'enfonce vers l'amont le protégeant des activités humaines de surface. En opposition, la morphologie de l'érosion du site de Lido induit des potentielles connexions de l'aquifère avec la surface.

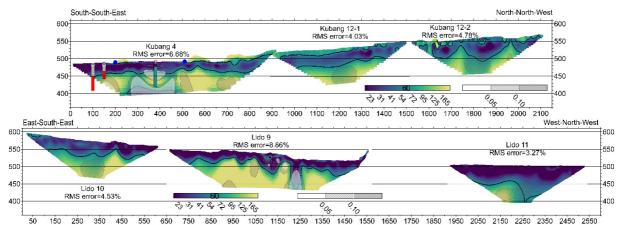


Figure 1 : Profils ERT en 2D. Les inversions avec la norme L2 sont obtenues après 3 itérations



### Sur une nouvelle méthode de détermination des distributions de temps de relaxation

Alexis Maineult<sup>1</sup>, Nicolas Florsch<sup>1,2</sup>

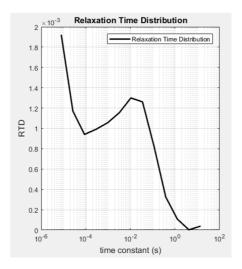
- 1) Sorbonne Université, CNRS, EPHE UMR 7619 METIS, France
- 2) Sorbonne Université, IRD UMI 209 UMMISCO, France

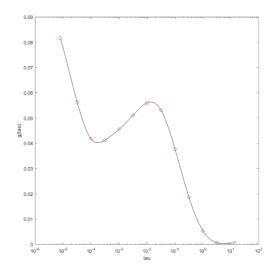
La méthode de la polarisation provoquée spectrale consiste à injecter un courant sinusoïdal dans un échantillon (ou sur le terrain) à l'aide de deux électrodes, et à mesurer la différence de potentiel résultante à l'aide de deux autres électrodes. En procédant ainsi pour différentes fréquences f, on obtient un spectre de conductivité complexe  $\sigma^*$ . Pour estimer les temps caractéristiques des phénomènes de polarisation sous-jacents, il est utile de déterminer ce qu'on appelle la distribution des temps de relaxation G, en décomposant  $\sigma^*$  sous la forme :

$$\sigma^* = \sigma_{\infty} + (\sigma_0 - \sigma_{\infty}) \int_0^{+\infty} \frac{G(\tau)}{1 + 2i\pi f \tau} d\tau + 2i\pi f C$$

où  $\sigma_0$  (resp.  $\sigma_\infty$ ) est l'amplitude de la conductivité à fréquence nulle (resp. infinie) et C une capacité. Le problème inverse consiste à déterminer  $\sigma_0$ ,  $\sigma_\infty$ , C et la distribution G de telle sorte que le  $\sigma^*$  prédit corresponde au  $\sigma^*$  mesuré.

Nous avons développé une nouvelle approche, dans laquelle G est donnée par une spline (et donc par quelques points pivots d'abscisses judicieusement choisies, et dont les ordonnées sont les inconnues), laquelle a l'avantage d'être définie de façon univoque, continue et deux fois dérivable. Nous avons utilisé le recuit simulé pour l'optimisation de  $\sigma$ .





RTD déterminée avec le code de Florsch et al. (NSG 2012), à gauche, et avec notre approche, à droite, sur un échantillon d'illite saturé avec une solution de NaCl à 0.018 M.

Notre approche donne des résultats similaires à ceux produits par le code de Florsch et al. (NSG, 2012), qui utilise une technique d'inversion complètement différente, ce qui permet de valider de façon croisée les deux algorithmes. Enfin, on peut noter que notre technique est applicable aussi pour les spectres de permittivité diélectrique.



### Élaboration et mise en place d'un plan de bioremédiation d'un site d'Ile-de-France

Marie ARNAUD<sup>1-2</sup>, Gilles DUQUENOY<sup>2</sup>, Frédéric DELARUE<sup>1</sup>, Maryse ROUELLE<sup>1</sup>, Julien THIESSON<sup>1</sup>, Katell QUENEA<sup>1</sup>

- 1 Sorbonne Université, CNRS, EPHE, PSL, UMR METIS, Paris, France
- 2 Agence des Espaces Verts (AEV) de la Région Ile-de-France, Paris, France

La dépollution des friches industrielles constitue un enjeu pour l'environnement, tant pour les territoires en quête de développement urbain que pour la protection des zones rurales et agricoles. Ce processus visant à réhabiliter les sols pollués en éléments-traces métalliques, hydrocarbures, ou solvants, est à la fois long, coûteux, et parfois peu favorable pour l'environnement. Ces dernières années, de nouvelles technologies vertes dont la phytoremédiation se sont développées pour répondre aux préoccupations écologiques. Le site de la Ballastière à Valenton (94) est en cours d'aménagement dans le cadre de la Voie verte « la Tégéval ». Il s'agit d'une ancienne carrière remblayée en décharge non contrôlée dans les années 50 et présentant aujourd'hui de forts taux en polluants, en particulier en éléments-traces métalliques (ETM). Environ 1 hectare a été identifié par l'Agence des espaces verts (AEV) pour mener des expérimentations in situ. L'objectif est d'évaluer et comparer l'efficacité de plusieurs protocoles de phytoextraction, tout en apportant un traitement paysager qualitatif pour les riverains. Le site a également un intérêt écologique, car il permet de préserver et favoriser le développement de la biodiversité urbaine, et pédagogique, puisqu'il s'inscrit dans une trame piétonne et des zones de détente reliant les espaces verts du Département. Plusieurs espèces végétales ont été sélectionnées suivant des critères précis : (i) capacité à hyperaccumuler ou au moins accumuler les ETM visés (cuivre, plomb et zinc) dans les parties aériennes, (ii) capacité à supporter les conditions climatiques locales, (iii) système racinaire profond et/ou bien ramifié afin d'extraire les ETM des horizons plus profonds, et (iv) faible transfert des ETM des organes végétatifs aux organes reproducteurs. Pour déterminer l'emplacement du dispositif expérimental dans une zone homogène, les teneurs en ETM dans le sol ont été mesurées par spectrométrie de fluorescence des rayons X (XRF), la susceptibilité magnétique et la conductivité du sol ont été évaluées par méthodes géophysiques. La teneur en carbone total des sols a été déterminée par analyse élémentaire, et le pH a été mesuré. Les teneurs en ETM dans le sol et dans les plantes déjà présentes sur le site avant l'expérimentation ont été déterminées plus précisément par ICP optique pour chaque placette du dispositif afin d'évaluer le niveau de contamination du site et d'établir une référence pour le suivi du projet à long terme.

**Mots clés** : phytoremédiation, phytoextraction, éléments-traces métalliques, hyperaccumulation, transfert des métaux.

#### Références bibliographiques :

Kayser A., Wenger K. and Keller A., Enhancement of Phytoextraction of Zn, Cd, and Cu from Calcareous Soil: The Use of NTA and Sulfur Amendments. *Environ Sci Technol* **34**(9), 1778-1783 (2000). DOI: 10.1021/es990697s

Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N. *et al.* Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environ Sci Pollut Res* **16**, 765–794 (2009). DOI :10.1007/s11356-009-0213-6

Yang, J., Yang, J. and Huang, J. Role of co-planting and chitosan in phytoextraction of As and heavy metals by Pteris vittata and castor bean – A field case. *Ecological Engineering*, **109**(A), 35–40 (2017). DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.09.001



## Etude et modélisation hydrogéologique d'un site de stockage de résidus miniers et impact du changement climatique

Pierre L'HERMITE<sup>1</sup>, Valérie PLAGNES<sup>1</sup>, Anne JOST<sup>1</sup>, Michael DESCOSTES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sorbonne Université, CNRS, EPHE, Milieux environnementaux, transferts et interaction dans les hydrosystèmes et les sols, METIS

<sup>2</sup>ORANO Mining, Environmental R&D Department – France

Les sociétés minières sont responsables de l'après-mine et du suivi environnemental pour s'assurer que les eaux provenant des sites miniers soient rejetées dans l'environnement en respectant les normes de rejets environnementales. Les eaux polluées sont traitées dans des stations de traitement pour atténuer leur impact avant leur rejet. Cette pollution se crée à partir de la recharge météorique qui s'écoule à travers les stériles et les résidus stockés sur les sites et crée souvent un drainage minier acide (DMA) ou une signature métallique qui peut être transférée aux rivières par l'écoulement des eaux souterraines.

Nous avons étudié une ancienne mine d'uranium à Bertholène, Aveyron (France), où les résidus, recouverts de stériles, sont stockés dans une vallée derrière une digue de stériles. Les eaux provenant à la fois du drainage des résidus et des installations minières (galeries et mine à ciel ouvert), sont collectées avant d'être traitées et rejetées dans l'environnement. La modélisation des flux d'eaux souterraines est nécessaire pour comprendre et quantifier les différentes sources de DMA et leur devenir. L'objectif de cette étude est de donner de nouvelles indications sur les flux afin de guider le réaménagement potentiel supplémentaire du site. Dans ce but, nous avons développé un modèle hydrogéologique 3D (MODFLOW) de l'ensemble du bassin versant.

Le changement climatique est susceptible de modifier les précipitations et les températures dans les 50 à 100 prochaines années, ainsi que la fréquence et l'intensité des événements extrêmes, ce qui pourrait affecter le bilan hydrique à l'échelle du bassin versant. Ces changements pourraient avoir un impact sur la nappe phréatique et le débit des eaux de surface. La prise en compte de l'impact du changement climatique sur le fonctionnement hydrogéologique de ces sites miniers permettra d'assurer une gestion durable de l'eau et de l'environnement.

L'analyse des données hydrogéologiques acquises sur le site ont été réalisées en s'appuyant sur des corrélations et des bilans hydriques. Ces données proviennent d'un suivi à long terme (20 ans) sur 13 piézomètres et 4 points de rejet. Un récent suivi journalier de deux ans des nappes phréatiques complète le jeu de données et permet de mieux comprendre la réponse du système hydrogéologique après des précipitations. Les résultats montrent une réaction rapide du niveau piézométrique et du débit après les précipitations et des écoulements dans le stockage qui se produisent dans des conditions non saturées. Une analyse du changement climatique a complété l'étude portant sur l'évolution du bilan hydrique ainsi que la fréquence et l'intensité des événements extrêmes au cours des 100 prochaines années. L'analyse montre une augmentation de la température qui affectera le bilan hydrique et la recharge. Dans le même temps, aucune tendance statistique n'est observée pour les précipitations annuelles mais les événements extrêmes seront plus intenses même s'ils ne sont pas plus fréquents. Notre étude hydrogéologique combinée à cette analyse du changement climatique permettra de fournir la gestion de l'eau la plus précise possible pour les prochaines années.



#### Mission de Terrain du projet INCEPTION

Hugo Potier, Maryse Rouelle, Marie Alexis

Présentation d'un poster reprenant les objectifs et le travail réalisé pendant la mission sur le terrain à Abisko (Suède) en août 2021 dans le cadre du projection INCEPTION (EC2CO 2021-2023). Relevés de végétation et mesures de la diversité spécifique végétale, prélèvements de végétation et de sols pour analyses élémentaires (majeurs et traces), prélèvements d'eau du sol et d'eau libre pour analyses NO3, NO2, NH4+ et analyses microbiologiques pour caractérisation des communautés microbiennes du sol et des eaux (en lien avec les émissions de GES). Si les premières analyses (qui sont en cours) fournissent des résultats préliminaires d'ici là, présentation de ces résultats et mise en perspective pour le reste des analyses et du projet.

#### Capture du poster :



#### Biogeochemical cycles in Arctic environments : how to access changes in remote ecosystems?



A visual summary of a summer field work in Abisko 2021
"INteractions between Cycles in Ecosystems across Permafrost in Transition - INCEPTION Project

Hugo Potier- 1st Year PhD student

# Context and Scientific Questions Tundra like environments How do Climate Changes modify Nitrogen cycle in Arctic and subarctic regions? Taiga like environments • How do vegetation changes and permafrost thawing impact Nitrogen, Molybdenum and Vanadium availability? • What are the consequences of those changes on functions and activities of microbial communities? • Will Arctic and subarctic ecosystems remain N limited and may they become significant N-O emission sources?



## Réseaux d'impédances complexes pour simuler la chargeabilité de mélanges sable-pyrite

Alexis Maineult<sup>1</sup>, Grigory Gurin<sup>2</sup>, Konstantin Titov<sup>2</sup>

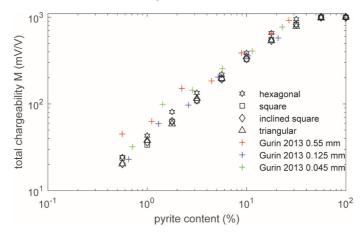
- 1) Sorbonne Université, CNRS, EPHE UMR 7619 METIS, France
- 2) Université d'Etat de Saint-Petersbourg Institut des Sciences de la Terre, Russie

La méthode de la polarisation provoquée spectrale est désormais utilisée communément dans de nombreux domaines de la géophysique de subsurface. La méthode consiste à injecter un courant sinusoïdal dans un échantillon ou sur le terrain à l'aide de deux électrodes, et à mesurer la différence de potentiel résultante à l'aide de deux électrodes de mesure. En procédant ainsi pour différentes fréquences, on obtient un spectre de résistivité complexe du milieu. La chargeabilité totale du milieu, M, est donnée par la différence entre l'amplitude de la résistivité à basse fréquence et celle à haute fréquence, divisée par l'amplitude à basse fréquence.

Nous avons calculé la réponse en polarisation provoquée spectrale de réseaux 2D d'impédances complexes, visant à modéliser des mélanges de sable saturé en eau contenant des grains de pyrite, pour différentes teneurs. Certaines impédances représentent donc les pores saturés en eau, ayant une simple résistance  $R_0$ , et les autres les grains de pyrite, ayant une impédance  $Z^*$  de la forme :

$$Z^* = R_1 + \frac{1}{i\omega C}$$

où C est une capacitance et  $\omega$  la fréquence angulaire. Une fois calculée la résistivité complexe du réseau, on en déduit sa chargeabilité totale.



Chargeabilités totales calculées sur les réseaux d'impédances complexes et données expérimentales.

Nous observons une très bonne adéquation des prédictions avec les données expérimentales de Gurin et al. (*Journal of Applied Geophysics*, 2013), en prenant  $R_0 = 100$  ohm,  $R_1 = 10$  ohm et C = 0.001 F.

