

Étude de l'impact de l'épandage de matières fertilisantes d'origine résiduaire sur le comportement des éléments traces métalliques au sein des agro-écosystèmes de Nouvelle-Calédonie.

- Équipe encadrante :

Co-direction : Peggy Gunkel-Grillon (PhD, HDR ; UNC) / Frédéric Feder (PhD, HDR ; Cirad)

Co-encadrement: Farid Juillot (PhD, HDR ; IRD) / Audrey Léopold (PhD ; IAC)

École doctorale: École Doctorale du Pacifique

- Description du projet :

L'agriculture est une source de dégradation des terres notamment par son impact sur le cycle de la matière organique du sol, bien que cette dernière soit un élément indissociable de leur fertilité ([Lal 2004](#)). Le retour au sol des matières fertilisantes d'origine résiduaire (Mafor) est une voie de valorisation intéressante pour préserver, voire augmenter les stocks de matière organique des sols. En France, pour limiter les risques potentiels environnementaux mais aussi sanitaires, les pratiques d'épandage des Mafor sont définies par un cadre réglementaire qui tient compte à la fois de la qualité des sols et de celle des Mafor (normes NFU 44-051, NFU 44-095, Arrêté du 8 janvier 1998). En effet, l'apport de Mafor riches en éléments traces métalliques (ETM) sur des sols dont les concentrations en ETM peuvent également être élevées, peut conduire à une augmentation de leurs concentrations et/ou de leur (bio)disponibilité dans les sols et ainsi conduire à des problèmes de phytotoxicité, de transfert vers la ressource en eau et/ou vers les organes des plantes à visée alimentaire, sur des échelles de temps plus ou moins longues ([Doelsch et al. 2010, 2011](#) ; [Houot et al. 2016](#) ; [Legros et al. 2013](#)). Du fait de leur contexte climato-géologique propre, les départements, pays et territoires d'Outre-Mer présentent des caractéristiques pédologiques qui diffèrent de celles de la France métropolitaine. Ainsi, la législation définie pour la France métropolitaine peut ne pas être adaptée aux contextes propres à ces territoires. La Nouvelle-Calédonie, archipel français du Pacifique Sud-ouest de statut *sui generis*, est mondialement connue pour la richesse en minerais de ses couvertures d'altération : nickel, chrome, cobalt, manganèse, fer, cuivre. De ce fait, sols et Mafor peuvent présenter de fortes teneurs en ETM ([Barbier 2014](#); [Becquer et al. 1995, 2001, 2003, 2006, 2010](#) ; [Dublet et al. 2012 ; 2015](#) ; [Edighoffer et Bourdon 1994](#) ; [Jaffré et al., 2013](#) ; [L'Huillier et Edighoffer 1996](#) ; [Latham et al. 1978](#) ; [Quantin et al. 2001 ; 2002](#) ; [Vincent et al. 2018](#)). Actuellement, l'application *sensu stricto* de la réglementation française en Nouvelle-Calédonie, engendre une impossibilité de valoriser les Mafor locales en agriculture *sensu largo*. Malgré leur plus-value potentielle dans des filières économiques d'envergure pour le territoire de la Nouvelle-Calédonie, près de 60 % des Mafor sont ainsi enfouies sans être valorisées ([ADEME NC 2015](#)). Il devient primordial pour le territoire, dans une optique de développement durable, d'appréhender les risques sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation de ces produits en agriculture dans les contextes agro-pédologiques locaux.

Sans tenir compte du cas particulier des sites et sols pollués, les concentrations naturelles des ETM dans les sols, mais également la nature même des ETM, diffèrent entre la France métropolitaine et la Nouvelle-Calédonie. En effet, les ETM les plus abondants dans les sols métropolitains sont le zinc, le plomb et l'arsenic ([FOREGS 2005](#)), et les teneurs naturelles en ETM de ces sols atteignent rarement des valeurs supérieures à 1% ; les sols de Nouvelle-Calédonie sont naturellement (très)

riches en nickel, chrome et manganèse, dont les concentrations, supérieures à 3%, sont relativement fréquentes. Ce contraste entre les contextes métropolitain et calédonien se retrouve sur la question de la qualité des Mafor. A titre d'exemple, en France métropolitaine, l'ajout de déchets verts aux boues de station d'épuration avant compostage conduit à une dilution des concentrations en ETM, en raison de la moindre contamination des substrats carbonés exogènes (Houot et al. 2016) ; alors qu'en Nouvelle-Calédonie, c'est le processus inverse qui est observé, soit une augmentation des teneurs en ETM suite à l'ajout des déchets verts, en raison de leur forte concentration en divers éléments, notamment nickel et chrome (Barbier 2014 ; Oddi 2011). Malgré une littérature abondante sur ces thématiques, l'étude de la spéciation et de la mobilité des ETM en réponse à l'épandage de Mafor demeure une problématique globale pour l'évaluation du devenir des ETM dans l'environnement et les chaînes trophiques (Houot, Pons et Pradel 2014). Ces questionnements représentent un enjeu majeur pour la Nouvelle-Calédonie, particulièrement en termes de santé publique, puisqu'une étude récente visant à évaluer le taux d'imprégnation des populations locales aux ETM suggère que l'alimentation représenterait une voie importante de contamination de la population (Cordier et al. 2017 ; St-Jean et al. 2018).

Le présent sujet de thèse propose ainsi d'évaluer le comportement des ETM, nickel et chrome notamment, dans le système sol-eau-plante, suite à un apport de co-compost dans diverses situations agricoles. Pour réaliser ce travail, l'étudiant disposera de différents modèles végétaux cultivés en plein champ dans des conditions pédologiques contrastées en termes de concentrations en ETM (ferralsols, fluvisols, cambisols). Un des principaux objectifs sera de comprendre les mécanismes bio-physico-chimiques qui contrôlent la dynamique des ETM en fonction des conditions agro-pédologiques, mais également d'évaluer les risques associés à cette dynamique. Dans le cadre de parcelles sylvicoles sur ferralsols, les risques de transfert à la ressource hydrique seront étudiés prioritairement, alors que dans le cadre de parcelles agricoles *sensu stricto*, le travail se concentrera sur les risques de transfert des ETM aux plantes cultivées (organes consommés notamment) et d'accumulation dans les sols. Par ailleurs, une analyse détaillée du statut bio-physico-chimique des ETM dans les produits résiduels, et de leur devenir au cours du processus de co-compostage est également attendue.

Pour ce faire, les teneurs totales, mobiles, biodisponibles des ETM seront étudiées, et les phases porteuses de ces ETM dans les sols et les Mafor seront caractérisées. Ces analyses seront réalisées à l'aide de différents protocoles analytiques mettant en jeu des lixiviations et des extractants chimiques. Des analyses plus poussées sur dispositif de rayonnement synchrotron sont également envisagées. Ces analyses seront réalisées sur divers échantillons issus d'études en plein champ et sous conditions contrôlées de laboratoire : incubations de sols et colonnes de sols reconstituées, qui permettront de simuler diverses conditions pédo-climatiques (degré d'humidité / d'anoxie, température, quantité de Mafor, apport d'un cumul d'eau équivalent à plusieurs années de précipitations, etc.).

Pour mener à bien son travail, l'étudiant-e disposera d'un accès aux nombreux appareils analytiques disponibles au sein du CRESICA, consortium qui réunit les instituts de recherche en Nouvelle-Calédonie (BRGM, CHT, Cirad, CNRS, IAC, Ifremer, Institut Pasteur, IRD, UNC). A travers une collaboration nationale avec la France métropolitaine, il-elle sera accueilli-e au Cirad à Montpellier (France), et pourra être amené-e à effectuer des missions à l'étranger (Australie, Italie, USA) à des fins expérimentales.

- Compétences requises :

Le-la candidat-e sera titulaire d'un master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur (Bac + 5). Des connaissances en biogéochimie, pédologie, et agronomie sont attendues. Des connaissances en hydrologie seraient un atout. De plus, des connaissances pratiques en analyses statistiques et un bon niveau d'anglais seront nécessaires à la réalisation du travail. Le-la candidat-e devra présenter des aptitudes au travail en équipe, en laboratoire et sur le terrain et faire preuve d'autonomie.

- Coordinateur du projet : Audrey LEOPOLD (PhD, IAC SolVeg)

-Candidature :

Un C.V. et une lettre de motivation seront envoyés à l'adresse mail suivante : ***leopold@iac.nc***.

- Contrat : Bourse d'Encouragement à la Recherche (191 000 xfp net / mois) + complément de bourse IAC (49 000 xfp net /mois).

- Date limite de candidature : 25 juillet 2018

- Références bibliographiques

- ADEME NC (2015). Les pratiques de compostage en Nouvelle-Calédonie. Retours d'expérience et analyses des composts produits. pp. 16.
- Barbier, G. (2014). Détermination des teneurs en éléments traces métalliques dans les déchets verts. Rapport de stage. pp. 48. Co-encadrement Province Sud – IAC.
- Becquer, T., Boudron, E., L'Huillier, L. (1995). Mobilité du nickel dans les sols ferrallitiques ferritiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie. In Ecologie des milieux sur roches ultramafiques et sur roches métallifères. Jaffré, T., Reeves, R.D., and Becquer, T. (Eds).
- Becquer, T., Pétard, J., Duwig, C., Bourdon, E., Moreau, R., Herbillon, A.J. (2001). Mineralogical, chemical and charge properties of Geric Ferralsols from New Cladonien. *Geoderma* 103, 291-306.
- Becquer, T., Quantin, C., Sicot, M., Boudot, J.P. (2003). Chromium availability in ultramafic soils from New Caledonia ? *The Science of the Total Environment* 301, 251-261.
- Becquer, T., Quantin, C., Rott'e-Capet, S., Ghanbaja, J., Mustin, C., Herbillon, A.J. (2006). Sources of trace metals in Ferralsols in New Caledonia. *European Journal of Soil Science*, 57, 200-213.
- Becquer, T., Quantin, C., Boudot, J.P. (2010). Toxic levels of metals in Ferralsols under natural vegetation and crops in New Caledonia? *European Journal of Soil Science* 61, DOI. 10.1111/j.1365 2389.2010.01294.x
- Cordier, S., Barguil, Y., Dominique, Y., St-Jean, A., Mengant, S., Le Bot, B., Ayotte, P. (2017) – Niveaux d'imprégnation et déterminants de l'exposition humaine aux métaux en Nouvelle-Calédonie. Programme « METEXPO ». CNRT « Nickel & son environnement. pp. 240.
- Doelsch, E., Masion, A., Moussard, G., Chevassus-Rosset, C., and Wojciechowicz, O. (2010). Impact of pig slurry and green waste compost application on heavy metal exchangeable fractions in tropical soils. *Geoderma* 155, 390-400.
- Doelsch, E., Basile Doelsch, I., Bottero, J.Y., Cazevielle, P., Chevassus-Rosset, C., Feder, F., Garnier, J.M., Gaudet, J.P., Legros, S., Levard, C., Masion, A., Moussard, G., Rose, J., Saint Macary, H. (2011). Recyclage des déchets organiques dans les sols tropicaux (île de La Réunion) : quel impact sur les transferts d'éléments traces métalliques ? *Etude et Gestion des Sols* 18, 175- 186.
- Dublet, G., Juillot, F., Morin, G., Fritsch, E., Fandeur, D., Ona-Nguema, G., Brown Jr., G.E. (2012). Ni speciation in a New Caledonian lateritic regolith: a quantitative X-ray absorption spectroscopy investigation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 95, 119-133.
- Dublet, G., Juillot, F., Morin, G., Fritsch, E., Fandeur, D., Brown Jr., G.E. (2015). Goethite aging explains Ni depletion in upper units of ultramafic lateritic cores from New Caledonia. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 160, 1-15.
- Edighoffer, S., Bourdon, E. 1994. Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du sud de la Nouvelle-Calédonie. Enquête sur le statut des nutriments et des métaux lourds chez les végétaux cultivés sur différents faciès ferritiques. Agropédologie N°27. ORSTOM.

- FOREGS (2005)**. Geochemical atlas of Europe. Part 1. Background information, methodology and maps. Chief Editor. R. Salminen. A contribution to IUGS/IAGC Global Geochemical Baselines. ISBN 951-690-913-2.
- Houot, S., Pons, M.-N, Pradel, M., Tibi, A.,** coord. (2016). Recyclage de déchets organiques en agriculture. Effets agronomiques et environnementaux de leur épandage. Quae (Ed.). France. pp.200
- Isnard, S., L'Huillier, L., Rigault, F., Jaffré, T.** (2016). How did the ultramafic soils shape the flora of the New Caledonian hotspot? *Plant and Soil* 403, 53-76.
- Jaffré, T., Pillon, Y., Thomine, S., Merlot, S.** (2013). The metal hyperaccumulators from New Caledonia can broaden our understanding of nickel accumulation in plants. *Frontiers in Plant Science* doi: 10.3389/fpls.2013.00279.
- Lal, R.** (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623.
- Latham, M., Quantin, P., Aubert, G.** (1978). Étude des sols de la Nouvelle-Calédonie. Nouvel essai sur la classification, la caractérisation, la pédogénèse et les aptitudes des sols de Nouvelle-Calédonie : carte pédologique de la Nouvelle-Calédonie à 1/1 000 000. ORSTOM, Paris, France.
- Legros, S., Doeslch, E., Feder, F., Moussard, G., Sansoulet, J., Gaudet, J.-P., Rugaud, S., Basile Doelsch, I., Saint Macary, H., Bottero, J.-Y.** (2013). Fate and behaviour of Cu and Zn from pig slurry spreading in a tropical water-soil-plant system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164, 70-79.
- L'Huillier, L., Edighoffer, S.** (1996). Extractability of nickel and its concentration in cultivated plant in Ni rich ultramafic soils of New Caledonia. *Plant and Soil* 186, 225-264.
- Oddi, A.** (2011). Projet pilote PRO : épandage de produits résiduaux organiques compostés en parcelles forestières : enjeux et protocole expérimentale. Rapport d'activité pp.34. Province Sud.
- Quantin, C., Berthelin, J.** (2001). Oxide weathering and trace metal release by bacterial reduction in a New Caledonian Ferralsol. *Biogeochemistry* 53, 323-340.
- Quantin, C., Becquer, T., Rouiller, J.H., Berthelin, J.** (2002). Redistribution of metals in a New Caledonia ferralsols after microbial weathering. *Soil Science Society of America Journal* 66, 1797-1804.
- Vincent, B., Jourand, P., Juillot, F., Ducouso, M., Galiana, A.** (2018). Biological *in situ* nitrogen fixation by an *Acacia* species reaches optimal rates on extremely contrasted soils. *European Journal of Soil Biology* 86, 52-62.