

Offre de stage de Master 2 (6 mois)

Explorations métagénomiques et biostatistiques de la diversité des bactéries biocalcifiantes du port de Lorient sur des surfaces métalliques sous polarisation cathodique

Coordonnées tuteurs	- Nicolas ENJALBERT COURRECH (MIAT, INRAE, Auzeville-Tolosan) nicolas.enjalbert-courrech@inrae.fr - Béatrice COLIN (LIENSs, La Rochelle Université) beatrice.colin@univ-lr.fr
Laboratoire d'accueil	MIAT (Mathématiques et Informatique Appliquées de Toulouse – UPR 0875), INRAE, Auzeville-Tolosan
Laboratoires partenaires	LIENSs (Littoral, ENvironnement et Sociétés – UMR CNRS 7266), La Rochelle Université LaSIE (Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement – UMR CNRS 7356), La Rochelle Université
Mots clés	Biostatistiques, Analyse de données métagénomiques, Biofouling, Protection cathodique, Bactéries biocalcifiantes, Dépôts calco-magnésiens, Port de Lorient
Contexte du sujet	L'environnement marin impose des contraintes physico-chimiques et biologiques majeures sur les structures métalliques immergées. Pour prévenir les phénomènes de corrosion, la protection cathodique est largement utilisée. Toutefois, en abaissant le potentiel du métal, la polarisation cathodique modifie le micro-environnement à l'interface métal/eau de mer (augmentation du pH local, réduction de l'oxygène dissous), favorisant la précipitation de carbonates de calcium et d'hydroxydes de magnésium pour former un dépôt calco-magnésien. En parallèle, les surfaces métalliques sont rapidement colonisées par des micro-organismes marins formant un biofilm (microfouling). Parmi ces organismes, les bactéries biocalcifiantes jouent un rôle clé dans les mécanismes de biominéralisation en favorisant ou en structurant la précipitation carbonatée. L'interaction dynamique entre les mécanismes électrochimiques de la protection cathodique et l'activité métabolique de ces bactéries influence fortement la structure, la composition et l'évolution des dépôts. Le port de Lorient constitue un site d'étude d'intérêt majeur en raison de son implantation dans un environnement estuarien dynamique et de son activité industrielle maritime dense. Variabilité environnementale et physico-chimique : Soumis à l'influence directe des marées et aux apports d'eau douce continentale (estuaire du Scorff), le site présente des variations temporelles et saisonnières marquées en termes de salinité, température, turbidité et charge en nutriments. Ces fluctuations modifient localement les équilibres thermodynamiques de précipitation minérale ainsi que la disponibilité de l'oxygène dissous. Complexité du micro-environnement cathodique : Dans ce contexte estuarien, l'application d'une protection cathodique sur les structures métalliques (quais, pieux, coques de navires) génère un gradient physico-chimique complexe à l'interface métal/eau de mer. L'alcalinisation locale du milieu interagit directement avec les gradients de salinité et de matière organique propres au port de Lorient. Dynamique des biofilms marins : La richesse biologique et la charge microbiologique du port de Lorient favorisent une colonisation rapide des surfaces par le microfouling. La communauté de bactéries biocalcifiantes adapte son métabolisme à ces variations environnementales, influençant de manière significative la cinétique de formation, la porosité et la composition cristallographique des dépôts calco-magnésiens. Le projet s'appuie sur un plan d'expérience structuré combinant des approches <i>in situ</i> et des essais contrôlés : Supports d'immersion : Prélèvements de dépôts et de biofilms directement sur des coupons métalliques (acier au carbone, etc.) immergés au sein de la zone portuaire de

	Lorient à différentes durées d'exposition. • Conditions électrochimiques : Analyse comparative entre des surfaces sous protection cathodique (imposée à potentiel contrôlé) et des surfaces témoins en corrosion libre. Environnement de travail Le stagiaire sera accueilli au sein de l'unité MIAT (Mathématiques et informatique appliquées Toulouse), plus précisément au sein de l'équipe plateforme GenoToul-Bioinfo. MIAT est une unité de recherche INRAE composée d'environ 45 personnes réparties en quatre axes thématiques de recherches et deux plateformes. Les missions de la plateforme GenoToul-Bioinfo sont (i) de mettre à disposition une infrastructure de calcul et de stockage environnée dédiée à la bioinformatique, (ii) d'accompagner les projets des biologistes en les aidant dans leurs analyses de données bioinformatique ou en les formant, (iii) de développer des outils et de les mettre à disposition de la communauté. L'équipe de la plateforme GenoToul-Bioinfo est composée de 16 personnes (correspondant à 12 équivalents temps plein) avec des compétences variées : administration système, devops, bioinformatique, biostatistique, développement...
Missions et objectifs	L'analyse de données métagénomiques consiste, dans un premier temps, en un traitement bioinformatique des séquences d'ADN prélevées dans différents environnements. Cette analyse sera réalisée à l'aide de l'outil MetagWGS (voir https://forge.inrae.fr/genotoul-bioinfo/metagwgs) en amont du stage. Ce workflow fournit notamment des tables d'abondance décrivant la composition taxonomique et les fonctions biologiques présentes dans les échantillons. Dans un deuxième temps, le traitement biostatistique de ces données permet d'identifier les taxons et les fonctions plus abondants dans un environnement ou une condition donnée. Cette problématique est classiquement abordée par des méthodes d'analyse d'abondance différentielle reposant sur l'inférence statistique et les modèles linéaires généralisés. Ces analyses peuvent conduire à l'identification d'un grand nombre de taxons ou de fonctions différentiellement abondants, ce qui peut rendre l'interprétation biologique des résultats difficile. Une analyse d'enrichissement peut alors être réalisée afin d'améliorer l'interprétation biologique de ces résultats. Le stagiaire devra en particulier prendre en charge l'analyse biostatistique des données des différentes campagnes de prélèvement qui ont déjà été menées. • Analyses taxonomiques : Traiter et analyser les données de séquençage métagénomique (issues des échantillons du port de Lorient) en intégrant différentes paramètres : comparaison des différents métaux utilisés dans l'étude, différents quais, variabilité des saisons... • Ciblage fonctionnel de la biocalcification : Identifier et quantifier les gènes marqueurs clés impliqués dans les voies métaboliques de la biocalcification (ex. uréase, anhydrase carbonique) au sein des assemblages métagénomiques. Le stage se déroulera selon les étapes suivantes : • Prise en main du sujet, des données et des méthodes d'analyse d'abondance différentielle ; • Modélisation du problème et des données ; • Analyse biostatistique des données taxonomiques et fonctionnelles, comprenant des analyses descriptives, exploratoires ; • Mise en œuvre de la méthode d'analyse d'abondance différentielle retenue à l'issue d'une analyse bibliographique et d'un benchmark réalisés en amont du stage ; • Rédaction et présentation des résultats. Ces différentes étapes seront réalisées en collaboration avec les chercheurs biologistes du

	laboratoire LIENSs de La Rochelle Université, afin d'affiner les questions d'intérêt et de garantir la production de résultats pertinents pour l'interprétation biologique. En fonction de l'avancement du stage, le développement d'un script ou d'un document Quarto réutilisable pour d'autres analyses de données métagénomiques pourra également être envisagé.
Profil recherché	• Formation : Etudiant(e) en Master 2 ou 3ème année d'École d'Ingénieur en Statistique, Biostatistique, Bioinformatique, Écologie Microbienne ou Microbiologie Marine. • Compétences techniques : Statistique inférentielle et exploratoire, modélisation statistique et manipulation de données. Bonne maîtrise de R. Formalisation statistique d'un problème appliqué. Des connaissances en bioinformatique, génomique/métagénomique et en analyse différentielle constituent un plus. • Aptitudes : Curiosité pour les approches interdisciplinaires à l'interface entre la Statistique et la biologie, l'électrochimie/matériaux, la bioinformatique. Esprit critique, autonomie et rigueur scientifique. Relationnel et contact humain car travail en partenariat avec plusieurs laboratoires.
Durée et Gratification	6 mois (Janvier à Juin 2027, modulable si besoin) - Gratification légale en vigueur