

PHASE 2

Au fil de l'eau

Quel bilan après 3 années supplémentaires de recherche sur la thématique de l'eau en Nouvelle-Calédonie

Martial Dosdane - Province Sud

CRESICA

Consortium pour la Recherche, l'Enseignement Supérieur et l'Innovation en Nouvelle-Calédonie

Membres



Partenaires



PHASE 2

Au fil de l'eau

Quel bilan après 3 années supplémentaires de recherche sur la thématique de l'eau en Nouvelle-Calédonie

Martial Doudane - Province Sud

CRESICA

Consortium pour la Recherche, l'Enseignement Supérieur et l'Innovation en Nouvelle-Calédonie

Membres



Partenaires



PHASE 2

Au fil de l'eau

Quel bilan après 3 années supplémentaires de recherche sur la thématique de l'eau en Nouvelle-Calédonie

Martial Dosdane - Province Sud

CRESICA

Consortium pour la Recherche, l'Enseignement Supérieur et l'Innovation en Nouvelle-Calédonie

Membres




Partenaires



En quelques chiffres

 **7**
projets
de recherche

 **??**
productions
scientifiques

 **19**
mois c'est la durée du
programme de recherche
au fil de l'eau « phase 2 »

 **23**
millions de subvention
par le CRESICA

 **50**
une cinquantaine
de scientifiques
mobilisés

 **??**
nombres de rencontres collectives
(comité de pilotage, séminaires, etc.)

Au fil de l'eau, un programme de recherche novateur source d'émulation

L'eau est un enjeu majeur en Nouvelle-Calédonie. Selon les dernières études scientifiques, le changement climatique devrait se traduire par plus de variabilité dans le climat : de longues périodes de sécheresse succéderont à d'intenses épisodes pluvieux. Le phénomène El Niño intense annoncé en 2023 par les climatologues semble corroborer ces prévisions.

Conscient de l'enjeu que représente l'accès à l'eau, les institutions de la Nouvelle-Calédonie ont impulsé une réflexion autour de ce sujet afin de chercher des solutions adaptées au contexte de l'archipel. « Les assises de l'eau » organisée par le Conseil économique, social et environnemental (Cese) ont constitué une première étape dans la réflexion autour de cette problématique, suivi dix ans plus tard par le forum H2O. Ce forum H2O, ayant réuni 300 participants de divers horizons (institutions, recherche, monde économique et associatif, coutumier...) a abouti à dessiner les traits de la Politique de l'eau partagée (PEP), votée par le Congrès de la Nouvelle-Calédonie en mars 2019.

La communauté scientifique présente en Nouvelle-Calédonie s'est, elle aussi, saisie du sujet et s'est fortement mobilisée et a abouti à la création en 2017 du programme « Au fil de l'eau » dont le CRESICA assure la coordination. Ce programme original regroupe plusieurs équipes de recherche travaillant sur des thématiques très différentes (santé, minéralogie, épidémiologie, géographie, anthropologie, écologie, biologie marine...).

L'objectif de ce programme étant de répondre aux nombreuses questions qui se posent face à la gestion de cette ressource : l'accès à l'eau potable est-il suffisamment et durablement sécurisé pour

tous ? Quelles menaces pèsent sur les réservoirs d'eau ? Quels sont les effets des sécheresses, des pollutions, de l'érosion, des feux, de la dégradation des couverts végétaux par les espèces envahissantes ? L'assainissement des eaux usées est-il suffisant pour protéger le lagon et la santé des Calédoniens et des Calédoniennes ?

Une première phase du programme « Au fil de l'eau » rassemblant 7 projets de recherches a débuté en 2018 et s'est achevée en 2021. Les efforts de recherche visaient à mieux appréhender les problématiques liées à l'eau à l'échelle globale du bassin versant. Un résumé très succinct des résultats de ces travaux est présenté en page 3 de cette brochure. Une présentation plus complète de ces projets est accessible sur le site internet du CRESICA www.cresica.nc

Fort du succès et de l'émulation née de cette première phase, une 2^e phase du programme « Au fil de l'eau » comportant 7 nouveaux projets de recherche a débuté en 2021. Ce sont les résultats des travaux menés au cours de cette 2^e phase que nous vous présentons dans cette brochure.

Les résultats sont présentés sous le même format que ceux de la phase 1, avec une double page sommaire résumant l'essentiel à retenir, puis une double page pour chaque projet exposant les principaux résultats, la méthodologie, mais aussi les transferts potentiels vers la société. Comme pour les projets de la phase 1, une présentation plus complète est accessible sur le site internet du CRESICA www.cresica.nc

Des eaux du robinet parfois fortement contaminées au nickel et au chrome (par Yann Barguil)

L'objectif du projet Nickel-Chrome était de déterminer 1/quelles populations présentent de fortes concentrations en nickel et chrome dans leurs urines et 2/d'identifier les facteurs pouvant expliquer ces teneurs importantes, comme notamment la teneur en nickel et chrome des eaux de captage ou des eaux du robinet.

Notre étude a mis en évidence :

- Des teneurs importantes en nickel dans les urines des adultes et des enfants de certaines communes (2 fois plus qu'en métropole).
 - Des concentrations en nickel et chrome dans les eaux de captage très différentes selon la commune, le type de captage et la nature du sol et du sous-sol.
- Nos résultats préconisent la mise en place de captage d'eau souterraine, car moins chargée en nickel et chrome, sur les sols ou sous-sols rouges et la mise en place de captage d'eau de surface dans les bassins versant non miniers et dans des milieux préservés ou revégétalisés.

L'eau et le sol sont des réservoirs dormants de la leptospirose (par Cyrille Goarant)

L'objectif de notre étude était de déterminer le rôle des sols et des crues des rivières dans l'apparition et la propagation de la leptospirose.

Nos travaux ont mis en évidence :

- Le rôle de « réservoir » des sols et des sédiments de rivière pour les bactéries responsables de la leptospirose, en dehors des épisodes pluvieux.
- L'importance du pH (acidité) de l'eau et des sols sur la durée de vies des leptospires dans les eaux de rivière et dans les sols.
- Le lien entre l'érosion et le lessivage des sols et la présence de leptospires dans les eaux de crue.

Ces résultats devraient permettre, à partir de la carte des sols de la Nouvelle-Calédonie, de réaliser une cartographie du risque de leptospirose et donc de cibler les messages d'alerte auprès des populations les plus à risque.

La mangrove est un important filtre à métaux (par Cécile Dupouy)

Si le rôle de la mangrove en tant que filtre naturel est bien connu, des questions subsistent quant aux mécanismes physico-chimiques entrant en jeu dans ce processus. L'objectif de notre étude visait à mieux comprendre ces mécanismes en s'intéressant, notamment, à la « forme » sous laquelle circulent les métaux dans les rivières.

Nos travaux ont mis en évidence :

- La présence importante de métaux sous la forme dissoute, associés à la matière organique en suspension, dans les rivières lors de leur passage au travers de la mangrove.
- Une diminution de la teneur en métaux sous forme dissoute à l'embouchure de la mangrove en raison du pouvoir flocculant du sel contenu dans l'eau de mer.

Ces résultats contribuent à une meilleure compréhension du rôle épurateur de la mangrove et soulignent le rôle indispensable de cet écosystème pour la préservation de notre lagon.

Le bassin versant étend son influence jusqu'au récif (par Hugues Lemonnier)

Les eaux des rivières, se chargeant en sédiments au cours de leur parcours, peuvent contribuer à la dégradation de l'environnement littoral. Notre étude avait pour objectif de déterminer la qualité des eaux arrivant aux embouchures, de mesurer la zone d'influence de ces eaux, dans l'espace et dans le temps, afin d'évaluer les risques pour le lagon.

Nos travaux ont montré que :

- La nature et l'intensité des activités humaines présentes sur les bassins versants ont une influence sur la qualité des eaux aux embouchures.

• L'arrivée de l'eau de rivière dans le lagon exerce une influence forte, sur les communautés microbiennes. Cette influence visible peut s'étendre jusqu'au récif, jusqu'à 24 à 48 heures en cas de crues mais son effet sur les communautés s'exerce au-delà d'une semaine dans les baies.

Une thèse de doctorat visant à compléter ces résultats a été lancée et a déjà pu mettre en évidence l'impact des épisodes cycloniques sur la diversité des micro-organismes présents dans les eaux situées à l'embouchure des rivières.

Vers des rivières moins boueuses grâce à la sédimentation accélérée (par Michaël Meyer)

Notre étude visait à mieux comprendre les processus de clarification des rivières dans le contexte particulier de la Nouvelle-Calédonie (nature des sols et biodiversité). L'objectif étant d'identifier les mécanismes qui permettraient de clarifier nos rivières plus rapidement après des épisodes de fortes pluies.

Nos travaux ont mis en évidence :

- Le rôle facilitateur des acides humiques (matière organique transformée) dans l'agglomération des minéraux, ce qui favorise la sédimentation.
 - Le rôle accélérateur du sel vis-à-vis de la vitesse de sédimentation des agrégats.
- Nos résultats ayant montré le rôle accélérateur et facilitateur de certaines matières organiques dans le processus de sédimentation, ils pourraient être utilisés pour accélérer ce processus sur mine et ainsi éviter que des panaches de boues se retrouvent jusque dans le lagon.

Les poissons et les oiseaux du lagon sont systématiquement contaminés (par Yves Letourneur)

Notre étude visait à déterminer le niveau de contamination de diverses espèces récifo-lagonaires afin d'estimer le niveau de risque pour les personnes qui consomment ces espèces.

Nos travaux ont montré :

- La présence d'une soixantaine de polluants, à des taux de concentrations faibles à modérés, dans les chairs des poissons et oiseaux marins quel que soit leur zone de vie (zone anthropisée ou protégée).
- Une bioamplification des concentrations en mercure, arsenic et glyphosate d'un maillon de la chaîne alimentaire à l'autre.

La présence de polluants dans les tissus des poissons ou des oiseaux marins vivant dans des zones très éloignées pose question. C'est pourquoi en 2022, des études complémentaires ont été lancées afin de comparer les niveaux de contamination de ces espèces dans d'autres régions du Pacifique.

Vers une reconnaissance du lien à l'eau sur terres coutumières (par Séverine Brouard)

Nos travaux de recherche avaient pour objectif de mieux connaître la représentation de l'eau et les liens qui unissent l'eau et les humains dans la culture Kanak et, ainsi contribuer à la construction d'une gestion partagée de cette ressource.

Les enquêtes de terrains et l'analyse de différents corpus de textes (littératures orales et scientifiques) ont montré :

- Les représentations et les valeurs associées aux eaux kanak sont faites d'assemblages et de liens : lien par association (eau + anguille/crevette = harmonie) ; lien par circulation (eau/homme = clan), lien par correspondance (eau/taro/femme = fertilité/vie), etc. Ainsi les valeurs accordées à l'eau sont déterminées par l'insertion, parfois multiples et complexes dans ces assemblages de foncier, de clans, de personnes, d'événements, d'anguilles, mulets noirs, pierres...

• La coexistence de 5 représentations de l'eau pour les Kanak : l'eau des clans, l'eau des vieux, l'eau pure, l'eau des terres coutumières, l'eau collective. L'eau étant un des enjeux majeurs des prochaines décennies, nos résultats constituent des outils d'aide à la mise en place de politiques publiques adaptées au contexte et donc plus facilement acceptées.

sommaire

12

DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODE D'ANALYSE DES HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP) DANS L'ENVIRONNEMENT NATUREL

La mangrove de Koutio (mangrove de zone urbaine) et la mangrove d'Ouvéa (mangrove préservée) ne présentent aucune trace de contamination au 16 HAP prioritaires.

PROJET ORDALY

16

LA PRÉSENCE DE MÉTAUX DANS LES EAUX IMPACTE LA CROISSANCE DES MICROALGUES

La présence de nickel concentré dans le milieu augmente fortement la production d'acide gras par les microalgues durant les premiers jours de culture. Ces résultats pourraient être utilisés par les producteurs de microalgues pour orienter la production de biomolécules d'intérêt.

PROJET MICROMET

14

PROJET ECOMINE

DES MICROALGUES ET DES BACTÉRIES POUR RETRACER L'HISTORIQUE DE L'IMPACT DES ACTIVITÉS MINIÈRES SUR LES ÉCOSYSTÈMES LITTORAUX

L'analyse de sédiments datant de mille ans collectés dans l'embouchure de la Thio permettra de mesurer l'influence du développement de l'industrie minière sur les communautés microbiennes à une échelle de temps multi décennale et ainsi de développer des indicateurs de qualité de l'eau.

10

LES EAUX USÉES REFLET DE LA RÉSISTANCE DES BACTÉRIES AUX ANTIBIOTIQUES

Les eaux usées contiennent des bactéries résistantes aux antibiotiques, favorisant ainsi l'émergence et la propagation de ces bactéries résistantes.

PROJET ARCANÉ

8

UNE EAU POTABLE POUR TOUS GRÂCE À LA BIOSORPTION

Les fibres de coprah ainsi que certains microorganismes pourraient être utilisés comme filtre naturel pour épurer l'eau contaminée par des éléments traces métalliques comme le nickel et le chrome.

PROJET DEPOLEAU

6

LES FIBRES D'AMIANTE VOYAGENT-ELLES DANS LES RIVIÈRES ?

Les eaux de ruissellement entraînent des fibres amiantifères qui se déposent dans la zone de contact entre eau douce et eau de mer, créant ainsi de nouvelles zones d'expositions pour la population.

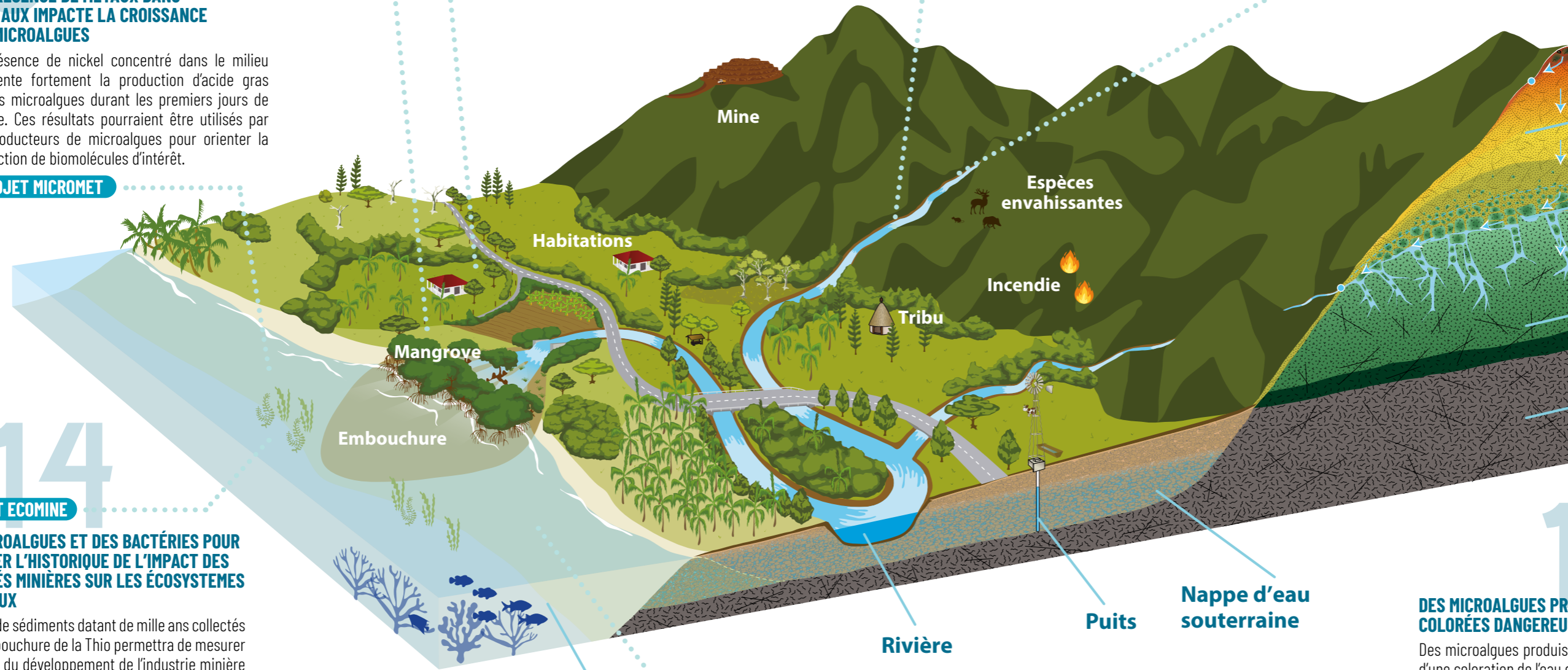
PROJET SAFE

18

DES MICROALGUES PRODUISENT DES EAUX COLORÉES DANGEREUSES POUR LA SANTÉ

Des microalgues produisent des toxines, à l'origine d'une coloration de l'eau de mer, susceptibles d'être toxiques pour les humains en cas de baignade ou de consommation de coquillages.

PROJET SWIMTOX



LES FIBRES DES MINÉRAUX DE TYPE AMIANTE VOYAGENT-ELLES DANS LES RIVIÈRES ?

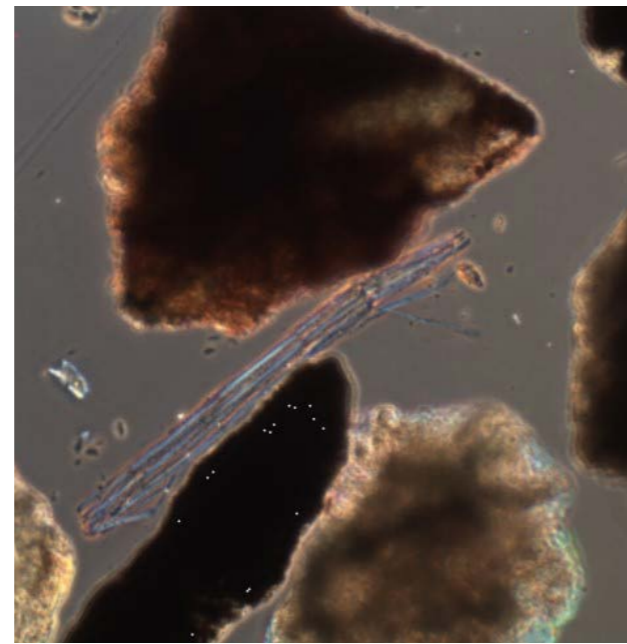
Par Christine Laporte

La Nouvelle-Calédonie possède des affleurements naturels de minéraux de type amiante, répartis sur la quasi-totalité de la superficie du territoire. Ces affleurements exposent les populations à des risques sanitaires importants. Les sollicitations mécaniques naturelles (érosion, lessivages) ou anthropiques (exploitation minière, carrières, travaux routiers, aménagements...) favorisent le fractionnement de ces minéraux et la dispersion dans l'environnement de fibres et fibrilles susceptibles de déclencher des pathologies graves lorsqu'elles pénètrent dans les organismes. Comprendre les modalités de dispersion dans l'environnement de ces fibres pathogènes est primordial pour prévenir les risques et préserver au mieux la population calédonienne.

Les eaux douces, qui ruissellent sur les affleurements, érodent, transportent et dispersent des particules minérales, qui finissent par se déposer plus ou moins loin de la source initiale, le long des bassins versants jusqu'à la zone côtière. Les affleurements naturels de minéraux de type amiante subissent ces processus qui peuvent aboutir, dans ce cas, à la création de nouveaux points d'expositions pour les populations. Les précédents travaux de recherche menés sur la problématique de l'amiante environnementale se focalisaient sur la dispersion aérienne des fibres, mais un intérêt croissant se porte sur leur transport par les eaux douces.

De nombreux questionnements en découlent :

- Comment évaluer la dangerosité des affleurements naturels de minéraux de type amiante, potentielle source de sédiments amiantifères ?
- Quels outils et méthodologies de quantification des fibres dans les sédiments des rivières ?
- Quelle est la distance entre l'affleurement initial et le nouveau dépôt des fibres suite au transport par les eaux douces ?



Exemple d'identification de fibres de minéraux amiantifères dans un prélèvement de sédiments

DES RÉSULTATS EN COURS D'ANALYSE

Les principaux résultats obtenus à l'issu du projet sont les suivants :

- Le caractère pathogène des minéraux amiantifères dépend de trois paramètres principaux : leur morphologie sous forme de fibre (rapport longueur / largeur > 3, et longueur > 5µm), leur réactivité chimique de surface et leur biopersistance. Ces propriétés évoluent au cours du temps, en fonction de l'environnement d'affleurement de ces minéraux. L'évaluation et la création d'une échelle du risque sanitaire, relèvent donc d'une approche complexe qui va au-delà de la simple identification de terrain. Une proposition méthodologique est en cours de test (recherches collaboratives franco-italiennes). Ce projet a permis d'impliquer des affleurements miniers calédoniens dans le développement d'une nouvelle approche, pour aboutir à la création d'une échelle du risque sanitaire.
- L'analyse des sédiments collectés à l'embouchure de la Thio (Collaboration avec le projet ECOMINE) montre un apport en minéraux amiantifères de l'amont vers l'aval du bassin versant, et leur dépôt dans la zone de contact eau douce/eau de mer. Ces résultats montrent que l'eau de ruissellement favorise la dispersion des minéraux amiantifères. Des prélèvements de sédiments ont également été réalisés le long de la Tontouta et tracent les mêmes apports.

FICHE PROJET

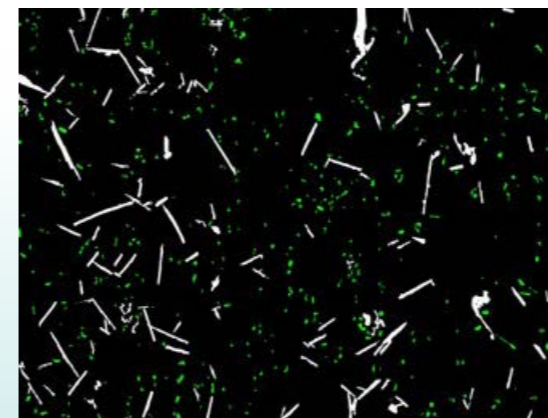
SAFE - Suivi des asbestes au fil de l'eau.

Responsable : Christine Laporte, UNC

5 personnes ayant travaillé sur le projet

1 Partenaire impliqués : UNC

19 mois



Exemple de reconnaissance de fibres (en blanc) via l'algorithme développé

LES MÉTHODES DE MACHINES LEARNING¹ AU SERVICE DE L'IDENTIFICATION DES FIBRES AMIANTIFÈRES DANS LES SÉDIMENTS

L'identification de la présence de fibres d'amiantes ne nécessite que quelques millilitres voire quelques centilitres d'eau (filtration des prélèvements d'eau) qui sont ensuite analysés en microscopie électronique. Or, cette faible quantité sert de base à l'interprétation à l'échelle du bassin versant. Il est donc nécessaire de démultiplier le nombre d'échantillons pour être représentatif. Mais l'analyse des filtres qui recueillent les matières en suspension dans l'eau est extrêmement chronophage, vu la taille des fibres recherchées. C'est pourquoi nous avons utilisé des méthodes de Machines Learning pour tenter d'automatiser via l'imagerie, la reconnaissance, la quantification et la métrologie des fibres dispersées sur les filtres, au sein des sédiments.

VERS UNE MEILLEURE MÉTHODOLOGIE DE QUANTIFICATION DES FIBRES TRANSPORTÉES ET DÉPOSÉES

Si l'identification de fibres dans un échantillon de sédiments reste relativement aisée, par contre obtenir leur pourcentage en masse demeure très complexe. Plusieurs expérimentations à partir d'échantillons contrôlés ont permis de proposer des pistes de quantification de la proportion des fibres.



Transfert vers la société

Les objectifs de ces recherches sur l'amiante environnementale résident dans une meilleure connaissance de la dispersion et de l'évolution des caractères pathogènes des fibres libérées dans l'environnement. L'acquisition de connaissances scientifiques représente un prérequis indispensable pour améliorer les politiques de prévention du risque sanitaire, et mieux cibler les messages transmis aux populations. Les calédoniens doivent être éduqués, à bon escient, sur les modalités de partage de leur lieux et modes de vie, avec la présence d'affleurements naturels de minéraux potentiellement pathogènes, pour réduire au maximum le risque encouru.

¹ Le Machine Learning, ou apprentissage automatique, est une sous-catégorie de l'intelligence artificielle. Elle consiste à laisser des algorithmes découvrir des signatures, à savoir des réponses récurrentes, dans les ensembles de données. Ces données peuvent être des chiffres, des mots, des images, des statistiques.

TÉMOIGNAGES



Christine LAPORTE
Chercheuse en géochimie à l'UNC

Les affleurements de roches subissent des processus d'altération. L'érosion, qui suit l'écoulement des eaux de pluies, transportent des fragments de minéraux, arrachés aux roches affleurantes. Ces particules poursuivent leur parcours au fil de l'eau, atteignent des cours d'eau de plus en plus importants et, pour les plus fines, se déposent à l'embouchure des rivières. Tout au long du lit des rivières, les particules décantent lorsque que leur densité devient trop importante, pour qu'elles restent en suspension dans l'eau. Au fil des saisons, les rivières s'assèchent plus ou moins, et laissent ainsi à l'air libre, ces dépôts de particules. Les affleurements naturels de minéraux amiantifères s'exposent aux mêmes processus. Les minéraux de type amiante se dispersent ainsi dans l'environnement, créant potentiellement de nouveaux sites d'émission de fibres pathogènes. Le projet SAFE a permis d'acquies les premières données sur ces processus de dispersion, l'objectif étant d'amender les connaissances pour mieux prévenir les dangers éventuels et préserver la population calédonienne.



Nazha SELMAOUI-FOLCHER
Chercheuse dans le domaine des Data Sciences à l'UNC

Les gisements latéritiques formés sur des roches ultrabasiques altérées couvrent plus d'un tiers du territoire. Or, parmi les phases minérales qui les composent, certaines appartiennent à la famille de l'amiante qui émettent des fibres pathogènes. Afin de gérer la présence naturelle de ces fibres et de prendre les mesures nécessaires à la protection des travailleurs, il est nécessaire d'évaluer et de surveiller la concentration de fibres d'amiante dans l'environnement. L'approche de surveillance actuelle repose sur une méthode de comptage, à l'œil nu, utilisant la microscopie électronique à transmission. Les procédures analytiques prennent du temps et présentent un biais lié à la subjectivité de l'analyse de l'opérateur. Pour pallier ce problème, nous avons développé une nouvelle méthode automatique de détection des fibres sur les filtres à l'aide de méthodes d'analyse d'images et d'IA, permettant de distinguer les fibres individuelles, les particules, les objets juxtaposés et les faisceaux de fibres, tout en réduisant au maximum le bruit de l'image.

UNE EAU POTABLE POUR TOUS GRÂCE À LA « BIOSORPTION »

Par Valérie Burtet-Sarramégnia

La contamination des eaux par les éléments traces métalliques (ETM), potentiellement toxiques pour les humains et l'environnement, est une problématique qui touche de nombreux territoires dont la Nouvelle-Calédonie. Les techniques actuelles d'épuration de l'eau étant coûteuses, lentes ou génératrices de déchets toxiques, nous travaillons au développement de nouvelles techniques de dépollutions innovantes et respectueuses de l'environnement, basées sur la biosorption.



Campagne de prélèvement terrain @Valérie Burtet

De récentes études (dont le Projet « Nickel-Chrome » - « Au fil de l'eau » Phase 1) ont montré que les concentrations moyennes en ETM mesurées dans les urines de la population néo-calédonienne sont élevées par rapport aux références internationales, notamment pour le nickel et le chrome. Une des trois voies de contamination possibles est l'ingestion d'eau du robinet présentant des concentrations significatives en ETM.

Nos travaux ont pour objectif la conception de filtres à base de produits naturels peu coûteux permettant de retenir les ETM piégés sous formes dissoutes ou particulaires et ainsi d'épurer l'eau par « biosorption ». Nous nous sommes intéressés plus particulièrement à des microorganismes associés à des plantes se développant sur sols miniers et aux co-produits du coprah.

Les questions que nous nous sommes posées étaient les suivantes :

- Les microorganismes associés aux plantes qui se développent sur les sols miniers peuvent-ils absorber les métaux ?
- Les capacités d'absorption de ces microorganismes sont-elles différentes selon qu'ils se développent sur une plante hyper-accumulatrice de métal ou non ?
- Les exsudats de ces microorganismes et/ou des coproduits issus de l'industrie du coprah peuvent-ils aussi être utilisés comme filtres naturels des métaux ?

DES RÉSULTATS PROMETTEURS

Les résultats que nous avons obtenus sont les suivants :

Concernant les microorganismes

- Sur les 117 bactéries isolées sur une plante hyper-accumulatrice de nickel (*Psychotria gabriellae*), une vingtaine sont résistantes à des concentrations très élevées de nickel (500 ppm). La capacité de sorption des ETM par ces bactéries et/ou de leurs sous-produits (EPS et/ou biofilm) est en cours de caractérisation.
- 196 bactéries ont été isolées sur une plante non accumulatrice de métal (*Psychotria semperflorens*) et sont actuellement en cours de caractérisation vis-à-vis de leur résistance au nickel.

Concernant le coprah

- La fibre de coco est un filtre efficace. La biosorption du nickel par cette fibre est optimale à pH 8 (pH non observé en conditions naturelles). La biosorption a également été évaluée pour d'autres métaux (chrome, cobalt et manganèse) et le chrome présente un rendement de fixation moindre.

DES ANALYSES À DIFFÉRENTES ÉCHELLES

Pour obtenir ces résultats, nous avons cherché à :

Pour les microorganismes

- Identifier les bactéries associées à des plantes cibles hyper-accumulatrices et non hyper-accumulatrices de nickel par une approche dite « culture indépendante » (par métagénomique ciblée). Cette approche permet d'évaluer l'implication des microorganismes dans les mécanismes d'adaptation à la contrainte métallique développés par ces plantes.
- Cultiver les bactéries les plus résistantes au nickel (500ppm) et à un mélange multi-métaux (nickel, chrome, cobalt et manganèse), puis les tester pour leurs capacités à produire des molécules adsorbant les métaux (notamment les exopolysaccharides ou EPS) ou à former spontanément des biofilms filtrant les métaux.

Pour le coprah

- Nous avons testé les capacités de biosorption des métaux par différents co-produits (coque ou fibres) de la filière coprah. Pour cela nous avons analysé les optimums de biosorption en système dit « batch » puis en système dit « continu » (sur colonne).

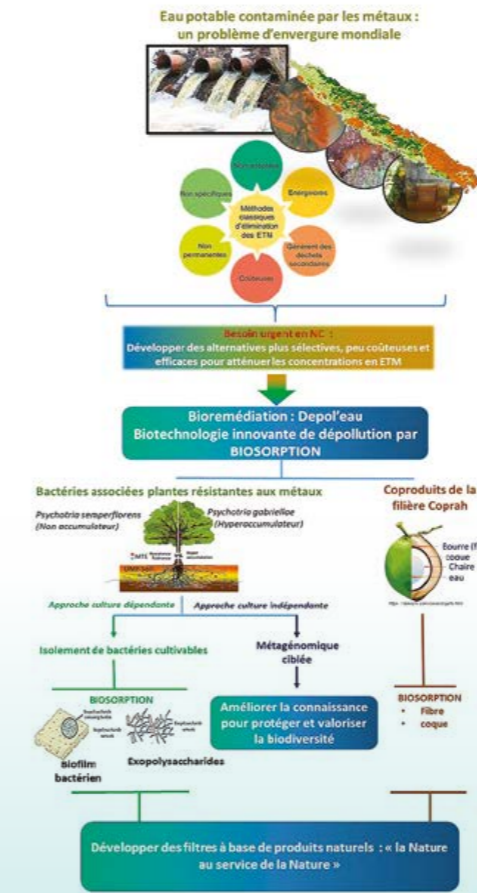


Schéma Stratégie projet « Dépoll'eau » => si bonne qualité

VERS DES ANALYSES PLUS POUSSÉES OU EN CONDITIONS NATURELLES

Concernant les bactéries, il serait intéressant de tester la chélation des métaux par les biofilms des bactéries de *P. gabriellae*. Le biofilm le plus performant pourrait être couplé à la fibre de coco comme support dans le système en continu et nos études futures seront poursuivies en ce sens.

Concernant la fibre de coco, il est nécessaire de faire d'autres essais avec des eaux naturellement chargées en métaux afin d'évaluer : (i) la capacité réelle de biosorption dans un système où le pH n'est pas optimal et où il peut y avoir une compétition entre les ions métalliques ; (ii) la taille du système utilisable à grandeur réelle (eau de rivière ou eau des canalisations) et (iii) le rythme de remplacement ou de régénération du filtre.



Transfert vers la société

Notre travail a déjà permis d'identifier le rôle épurateur de la fibre de coprah. Des souches bactériennes susceptibles d'absorber les métaux ont également été identifiées. Plusieurs années de travail seront encore nécessaires avant une utilisation de ces filtres naturels pour l'épuration de l'eau. Des tests systématiques de caractérisation des capacités de sorption des bactéries isolées les plus intéressantes et/ou des biomolécules ou structures qu'elles produisent (EPS / Biofilms), devront être menés au préalable.

À noter qu'un autre projet, analogue à DEPOLL'EAU, est mené en parallèle sur d'autres plantes et microorganismes isolés sur des sols de tannes de Nouvelle-Calédonie. Ces derniers sont testés pour leurs résistances au sel et aux métaux, afin de concevoir des filtres ou systèmes de piégeage des ETM à l'interface terre-mer (il s'agit du projet METDEP, financé par le CNRT).

TÉMOIGNAGES



Valérie BURTET-SARRAMEGNA

Chercheuse en biochimie et biologie moléculaire à l'UNC

L'augmentation de la population et de ses besoins a aggravé les problèmes de contamination de l'eau notamment par les métaux ou éléments traces métalliques (ETM). Ces contaminations particulièrement présentes en Nouvelle-Calédonie menacent directement l'approvisionnement en eau. Face à ce problème, il s'avère nécessaire de développer des stratégies efficaces, économiques et respectueuses de l'environnement permettant d'amener les concentrations en ETM dans les écosystèmes et en particulier dans les eaux usées ou de ruissellement à des niveaux acceptables pour l'environnement et la santé humaine. Le projet METDEP a pour objectif de développer des méthodes innovantes de décontamination des eaux en ETM, basées sur la biosorption, grâce à des microorganismes originaux issus de la biodiversité calédonienne.



Julie DIJOUX

Doctorante en biologie des organismes, aspects moléculaires à l'UNC

Avec environ 40% de sols ultramafiques, la Nouvelle Calédonie est un réservoir d'espèces végétales et microbiennes adaptées à la contrainte métallique. Face à ce stress, les plantes - dites métalloytes - et les microorganismes tels que les bactéries issues de ces sols ont développé plusieurs mécanismes d'adaptation, allant de l'exclusion à la bioaccumulation d'éléments traces métalliques. Dans le cadre de mes travaux de thèse, j'étudie les microorganismes (bactéries et champignons) associés à des métalloytes néo-calédoniennes afin de mieux comprendre les mécanismes de résistance mis en place chez ces plantes. Les bactéries présentant des propriétés remarquables seront par la suite valorisées dans l'élaboration de biofiltres visant à limiter la propagation des éléments traces métalliques dans les eaux.

FICHE PROJET

DEPOLEAU - La biosorption comme outil de dépollution (bio)chimique des effluents chargés en éléments traces métalliques.

Responsable : Valérie Burtet-Sarramégnia, Université de la Nouvelle-Calédonie (UNC)

9 personnes ayant travaillé sur le projet

5 Partenaires impliqués : LCC, IAC, IRD, IPNC, IRD

19 mois

LES EAUX USÉES REFLET DE LA RÉSISTANCE DES BACTÉRIES AUX ANTIBIOTIQUES

Par Alexandre Bourles

L'émergence et la propagation rapides de bactéries (multi)résistantes aux antibiotiques est un enjeu de santé prioritaire au niveau mondial. Malgré son insularité, la Nouvelle-Calédonie n'est pas épargnée par cette pandémie. La surveillance réalisée jusqu'à présent était centrée sur les approches cliniques et il n'existait pas d'étude sur le rôle de l'environnement local dans la sélection et la dissémination de ces bactéries spécifiques. Nos travaux se sont donc intéressés à mesurer l'influence de l'environnement, et plus particulièrement des eaux usées, dans ce processus d'émergence et de dissémination des bactéries antibio-résistantes.

Nous avons donc cherché à :

- Évaluer la dissémination des gènes de résistance aux antibiotiques et des bactéries associées dans l'environnement néo-calédonien et plus particulièrement dans les eaux.
- Identifier les facteurs favorables à la sélection et la dissémination environnementale de ces résistances.

DES RÉSULTATS ORIGINAUX...

Les principaux résultats que nous avons obtenus au niveau des eaux sont les suivants :

- La diversité des bactéries présentant des résistances aux antibiotiques spécifiques est importante. Des résistances ont été ainsi retrouvées chez des souches appartenant à 7 genres bactériens distincts.
- Des résistances qui n'avaient pas encore été détectées au niveau clinique sur le territoire ont pu être mises en évidence dans les eaux usées, ce qui illustre l'intérêt de cette approche environnementale, plus intégrative.
- Certaines bactéries possèdent des gènes de résistance aux métaux lourds (Ni, Co) suggérant une adaptation de ces souches aux concentrations retrouvées dans l'environnement.
- Lors de nos travaux, nous avons mis au point une nouvelle méthode d'identification simple et rapide de bactéries résistantes aux antibiotiques. Cette découverte a fait l'objet d'une publication scientifique (Bourles et al., 2023¹).

UNE APPROCHE ENVIRONNEMENTALE INTÉGRÉE ET INNOVANTE

Le suivi a été réalisé de manière longitudinale² au cours d'une campagne d'échantillonnage d'un an (prélèvements tous les deux mois). Les sites d'échantillonnage suivaient le parcours des eaux usées : des effluents des structures de soins, en passant par les systèmes d'assainissement, jusqu'aux milieux récepteurs. Au total, une centaine d'échantillons ont pu être collectés. À partir de ces échantillons, plus d'une centaine de bactéries résistantes aux antibiotiques d'intérêt ont pu être isolées. Finalement des analyses moléculaires ont été réalisées sur ces bactéries ainsi que sur les échantillons d'eaux afin de mieux caractériser les résistances.

¹ Bourles A, Kainiu M, Ukeiwe D, Brunet N, Despaux C, Biron A, Gourinat A-C, Goarant C, Colot J. Ertapenem Supplemented Selective Media as a New Strategy to Distinguish β -Lactam-Resistant Enterobacterales: Application to Clinical and Wastewater Samples. *Antibiotics*. 2023; 12(2):392. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12020392>

² Le suivi longitudinal est une observation répétée dans le temps d'un phénomène et/ou d'un échantillon.

L'environnement est un facteur important à prendre en compte dans l'émergence et la propagation de bactéries résistantes aux antibiotiques. C'est ce que nos travaux ont pu mettre en évidence en analysant des échantillons d'eau.



Programmation du préleveur automatique d'eau à l'entrée d'un système d'assainissement d'eaux usées (c) IPNC-M. KAINIU

FICHE PROJET

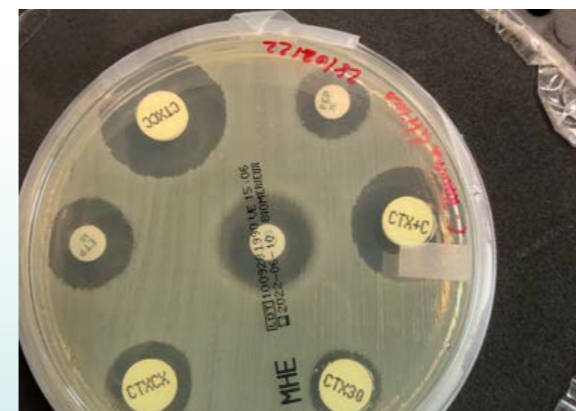
ARCANE - Approche intégrée environnementale de l'antibiorésistance via l'Analyse des Eaux.

Responsable : Alexandre Bourles, Institut Pasteur de la Nouvelle-Calédonie (IPNC)

10
personnes ayant travaillé sur le projet

3
Partenaires impliqués :
CHT, IRD et IPNC
(DASS, DAVAR, Mairies de Nouméa, Dumbéa, Koné)

19
mois



Profil de résistance de type KPC (détectée) pour la première fois en Nouvelle-Calédonie (c) IPNC-A. BOURLES

VERS UNE APPROCHE « UNE SEULE SANTÉ » DE L'ANTIBIORÉSISTANCE EN NOUVELLE-CALÉDONIE ET DANS LA RÉGION

Les résultats générés dans le cadre de ce projet illustrent l'intérêt de s'intéresser à la résistance aux antibiotiques via une approche « Une Seule Santé », qui prend en compte plusieurs facteurs et notamment l'environnement. L'IPNC s'oriente vers cela avec notamment la mise place d'un projet qui viendra compléter les travaux déjà initiés par l'équipe en s'intéressant à l'étude de l'antibiorésistance dans le compartiment animal (Projet SABRINA).

De plus, au vu des résultats générés dans le cadre du projet et des techniques développées il est envisagé d'initier ce type de travaux dans d'autres territoires du Pacifique pour lesquels il n'existe que très peu de données sur la résistance aux antibiotiques. D'autant que l'hypothèse d'échanges étroits de ces résistances avec les territoires voisins (Australie et Asie du Sud Est) a été émise lors de notre étude et fait actuellement l'objet d'analyses complémentaires.



Transfert vers la société

Les résultats de nos recherches ont déjà été utilisés par les services hospitaliers mais également par les collectivités :

- Suite à sa détection dans les eaux usées, une bactérie résistante spécifique a été recherchée, permettant son dépistage chez les patients.
- La détection de mécanismes de résistance non identifiés chez des patients a été communiquée au laboratoire de diagnostic du CHT qui a revu ces modes opératoires pour ne pas passer à côté de ces résistances.
- Des travaux ont été initiés avec les autorités compétentes (Direction des Affaires Sanitaires et Sociales, Mairie de Nouméa) afin d'anticiper un développement de cette problématique aux zones côtières.

Originalité du projet

- La mise en place d'un comité de pilotage regroupant l'ensemble des acteurs du projet (DASS, DAVAR, Province Sud, Province Nord, Marie de Nouméa, Dumbéa, Koné (SIVOM-VKP), CHT, PSN, CRESICA). Ce comité s'est réuni 5 fois sur l'ensemble du projet pour discuter de l'avancement et des résultats générés dans le cadre du projet.
- Mission à l'Institut Pasteur à Paris (Bourles Alexandre Mai-Juin 2022) dans le cadre du projet pour se former aux analyses de bio-informatique

TÉMOIGNAGES



Alexandre BOURLES

Chercheur en microbiologie à l'IPNC

Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet ont démontré l'intérêt de développer une approche plus intégrative de la résistance aux antibiotiques. La prise en compte de l'environnement et notamment de l'eau, croisée avec les données cliniques permettra d'avoir une vision plus précise de la dissémination de ces résistances. Je tiens aussi à souligner la démarche originale et participative de ce projet pour lequel un comité de pilotage regroupant l'ensemble des acteurs du projet (DASS, DAVAR, Province Sud, Province Nord, Mairie de Nouméa, Mairie de Dumbéa, Mairie de Koné au travers du SIVOM-VKP, CHT, PSN, CRESICA) a été mis en place.



Thibaud MOLEANA

Chef du service de l'inspection sanitaire des milieux, DRS, ville de Nouméa

Le projet « ARCANE » confirme la pertinence des mesures de gestion déjà mises en place pour la protection des utilisateurs des zones d'activité nautique, couvrant également la problématique de l'antibiorésistance dans le compartiment environnemental. Au-delà des aspects techniques, le pilotage collaboratif du projet a permis une approche intégrée du sujet et une application concrète des résultats aux différents besoins des parties prenantes.

DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODE D'ANALYSE DES HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP) DANS L'ENVIRONNEMENT NATUREL

Par Sarah Robin

La mangrove est un écosystème qui se développe le long des côtes calédoniennes et joue un rôle crucial dans la préservation du littoral et du lagon de la Nouvelle-Calédonie. Malgré, une diminution de sa superficie en raison de l'urbanisation, la mangrove occupe encore une grande partie des zones côtières du Grand Nouméa. Mais en raison de l'accroissement de la population, de la multiplication des infrastructures urbaines et de l'augmentation du trafic routier, les pressions anthropiques se font de plus en plus importantes sur cet écosystème.

Les HAP, produits principalement par combustion des matières organiques (charbon, pétrole, bois) sont une catégorie d'hydrocarbures dont 16 sont reconnus comme polluants prioritaires par l'OMS car cancérigènes ou mutagènes. En Nouvelle-Calédonie, les HAP n'ont jamais été scientifiquement quantifiés dans l'environnement, pas même dans la mangrove qui est un écosystème d'intérêt patrimonial particulièrement exposé à ces polluants.

Face à ce constat, nous nous sommes posés les questions suivantes :

- Quelle est la quantité des 16 HAP prioritaires dans les mangroves urbaines du Grand Nouméa ? Quelles en sont les origines ?
- Les HAP sont-ils transférés du sol de mangrove vers les palétuviers qui sont à la base de la chaîne alimentaire des écosystèmes adjacents ?
- Quels facteurs influencent la quantité et le type de HAP mesurés dans la mangrove ? Quels sont les liens entre type de matière organique et stockage des HAP dans le sol et les palétuviers ?
- Quelle est la différence entre la quantité et le type de HAP mesurés dans une mangrove sous pression urbaine et une mangrove préservée d'Ouvéa ?

DES RÉSULTATS RASSURANTS

Les principaux résultats obtenus en étudiant différents compartiments des deux mangroves sont les suivants :

- **Aucun des 16 HAP prioritaires n'a pu être détecté** dans les deux mangroves étudiées. C'est un résultat rassurant qui montre que même une mangrove dite urbaine n'est pas contaminée en HAP et ne présente donc pas de risque environnemental ou sanitaire concernant ces polluants.

DEUX MANGROVES ÉTUDIÉES

Pour ce projet, des échantillons de sol, d'eau du sol, de racines et de feuilles de palétuviers ont été prélevés dans deux mangroves. Les palétuviers étudiés sont des espèces courantes en Nouvelle-Calédonie : les *Rhizophora stylosa* et *Avicennia marina*. Les deux sites d'études choisis pour ce projet sont les mangroves de Nimenk au Nord d'Ouvéa pour la mangrove « préservée », et la mangrove de Koutio pour la mangrove « urbaine » qui reçoit les eaux pluviales qui s'écoulent dans la Koutio et se déversent dans la mangrove depuis plus de 50 ans. Les échantillons ont par la suite subi plusieurs traitements.



Mangrove urbaine à Dumbéa de @Benjamin LUCAS

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des polluants prioritaires reconnus par l'OMS. Ils peuvent provenir de sources naturelles tels que les feux de forêts ou, des activités anthropiques comme les gaz d'échappement, les rejets industriels, ou les revêtements routiers. Essentiellement présents, dans les zones urbaines, ils peuvent potentiellement s'accumuler dans les zones côtières. La quantification et la compréhension de l'évolution des HAP dans l'environnement est un enjeu environnemental et sanitaire. C'est pourquoi une méthode de quantification dans le sol et la végétation a été développée dans le cadre de la thèse de Sarah ROBIN qui se concentre sur la dynamique des contaminants dans les mangroves urbaines.

FICHE PROJET

ORDALY - Origine et devenir des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans une mangrove se développant en aval d'un bassin versant urbain et comparaison avec une mangrove préservée aux îles Loyauté

Responsable : Cyril Marchand, UNC

3 personnes ayant travaillé sur le projet

3 Partenaires impliqués : UNC, IAC, Ifremer

7 mois



Pollution dans la mangrove de Koutio de @Sarah ROBIN

DES RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES INTÉRESSANTS

Ces travaux ne sont qu'un chapitre de la thèse de Sarah ROBIN sur « la dynamique des contaminants dans les mangroves urbaines ». Les résultats annexes obtenus sont de grand intérêt pour mieux comprendre l'influence de l'urbanisation sur la dynamique des mangroves. **On apprend par exemple que :**

- Les effluents urbains modifient les conditions de la mangrove, notamment la salinité du sol qui est plus faible et son pH qui est plus élevé. Les effets visibles sont la taille des palétuviers beaucoup plus grands à l'entrée de l'effluent dans la mangrove car les arbres allouent moins d'énergie à combattre la haute salinité du sol et allouent plus d'énergie à la croissance.
- Les effluents urbains augmentent le taux de dégradation de la litière végétale sur le sol de la mangrove et donc potentiellement le taux de relargage des contaminants contenus dans cette litière vers le sol et les écosystèmes adjacents.
- L'espèce de palétuvier détermine en partie le type de matière organique dans le sol, et donc sa capacité à stocker le CO₂ et les contaminants.



Transfert vers la société

À travers ce projet, pour la première fois en Nouvelle-Calédonie, une méthode robuste pour la détection et quantification des HAP dans les végétaux et les sols a été mise en place. Un programme d'analyse de HAP sur un instrument de mesure de la DIMENC a été optimisé pour la première fois également. Ainsi, si un événement tel qu'une marée noire ou une pollution atmosphérique soudaine venait à se présenter en Nouvelle-Calédonie, les analyses nécessaires sur les HAP dans l'environnement pourront se faire localement.

TÉMOIGNAGES



Sarah Robin

Doctorante en 3^e année à l'UNC

Nous avons été agréablement surpris par les résultats obtenus par rapport aux HAP dans les mangroves. Cela montre que l'environnement calédonien reste relativement préservé, au moins vis-à-vis de ces polluants. C'est plutôt encourageant. Mais cette étude mériterait d'être poursuivie et étendue car les HAP se décomposent rapidement et surtout nous n'avons travaillé que sur deux mangroves.



Georges Naturel

Maire de Dumbéa

Ville verte et dynamique, constituée à 80% d'espaces naturels, Dumbéa connaît depuis quinze ans un fort développement urbain dans sa partie sud. Une des composantes de la qualité du cadre de vie des habitants est la prise en compte de l'environnement dans les projets développés. Ainsi, il est indispensable de préserver les espaces naturels de grande qualité, de les valoriser et de maîtriser l'impact de l'urbanisation sur le grand paysage, la biodiversité et les écosystèmes, dont la mangrove est un élément essentiel...

DES MICROALGUES ET DES BACTÉRIES POUR RETRACER L'HISTORIQUE DE L'IMPACT DES ACTIVITÉS MINIÈRES SUR LES ÉCOSYSTÈMES LITTORAUX

Par Hugues Lemonnier



Tryptique « du carottage au découpage » : (a) Carottage des sédiments dans l'estuaire de la rivière des Pirogues. (b) Ce travail a été réalisé avec les moyens navigants de l'IRD. (c) Collecte du sédiment de surface.

La Nouvelle-Calédonie présente une biodiversité terrestre et marine unique qu'il faut préserver. Les activités humaines via un excès d'apports en contaminants, en nutriments et en matière organique représentent une menace pour cette biodiversité et les services écosystémiques associés. Nous cherchons à développer des indicateurs de santé des hydrosystèmes et des écosystèmes littoraux ainsi que des indicateurs de risques sanitaires pour la Nouvelle-Calédonie.

Les activités minières sont considérées comme la principale source de contaminants pour les écosystèmes littoraux, c'est pourquoi notre étude a ciblé des bassins versants miniers représentatifs. Les microorganismes côtiers réagissant rapidement aux perturbations environnementales chroniques ou extrêmes, nous avons cherché à comprendre l'impact des activités minière sur ces communautés microbiennes (protistes, bactéries) à différentes échelles de temps (annuelle, décennale, centennale) le long du continuum terre - mer.

Nos travaux, menés en 2 phases, ont cherché à :

- Déterminer la diversité des microalgues et des bactéries dans les sédiments de différents estuaires liés à des bassins versants de natures géologiques différentes ; minier ou non minier (phase 1).
- Reconstruire les conditions environnementales rencontrées aux prémices de l'industrie minière à l'aide d'archives sédimentaires, analyser la diversité du vivant à différentes époques et ainsi évaluer le rôle de l'industrie dans les changements observés (phase 2).

DES DONNÉES EN COURS D'ANALYSE

La collecte des échantillons s'est terminée en avril 2022. Ils sont en cours de traitement.

Voici ce que nous pouvons déjà présenter :

- Pour la phase 1, soixante-trois échantillons ont été collectés dans les différents estuaires. L'ADN des microorganismes a été collecté dans l'environnement (ADNe), et grâce à des outils génétiques comme le métabarcoding¹, a été analysé afin d'obtenir la liste des taxons présents. La majorité des analyses est terminée. Les données sont en cours de traitement. Les premiers résultats seront présentés fin 2023.
- Les sédiments récoltés à 2,3 mètres de profondeur sont âgés de plus de mille ans. Ces résultats permettent d'envisager la mesure de l'influence du développement de l'industrie minière sur les communautés microbiennes à une échelle de temps multidécennale. L'effet des mesures prises depuis 50 ans pour la protection de l'environnement pourra également être évalué.



Tryptique « La profondeur des archives » : (a) carottage avec le bateau ALIS au large de l'estuaire de la Thio le 22 avril 2022. (b) Vue d'ensemble de la phase de découpage de la carotte sédimentaire d'une longueur de 230 cm dans les ateliers de la municipalité de Thio. (c) Travail d'extraction de l'ADNe des sédiments dans le laboratoire à flux contrôlés à l'UNC.

¹ Technique d'identification moléculaire permettant la caractérisation génétique d'un individu ou d'un échantillon d'individu à partir d'une courte séquence d'ADN.

CINQ SITES À LA LOUPE AVEC COMME FIL CONDUCTEUR UNE APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE

Pour mener la première phase, trois zones ont été ciblées afin de couvrir les différents contextes ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie : avec du Nord au Sud, la zone VKP constituée des bassins versants du Koniambo, une zone en aval de la rivière de la Dumbéa et celle au sud de Nouméa constituée des bassins versants de la rivière des pirogues et de la Coulée. L'estuaire du Diahot qui se trouve être en aval d'un bassin versant de géologie différente constitue une quatrième zone à titre comparatif. Des échantillons de sédiments de surface soumis à différentes conditions environnementales ont été collectés afin de déterminer les conditions qui y règnent à l'échelle de plusieurs semaines.

Pour la seconde phase, une carotte de 2,3 mètres de profondeur a été prélevée sur un cinquième site situé au large de l'estuaire de la Thio sur la côte Est du territoire. L'ADN ancien a été extrait dans un laboratoire à l'UNC puis transféré en métropole pour être séquencé.

UN PROJET SOURCE DE COLLABORATIONS ET À L'ORIGINE D'UNE THÈSE

Ce travail fait actuellement l'objet de nombreuses collaborations avec les équipes de l'IAC, de l'IRD, de l'UNC, du Service géologique de la Nouvelle-Calédonie (SGNC) mais aussi de l'IFREMER de Brest et de Nantes et des Universités de Brest, Bordeaux et de Toulon.

Les résultats de ce projet sont actuellement analysés par une doctorante Mathisse Meyneng qui a démarré une thèse en 2021. Une calédonienne Naina Mouras en stage de Master 2 de février à juin 2022 a étudié les caractéristiques de la matière organique qui s'accumule dans les sédiments superficiels. Depuis avril 2023, elle poursuit son aventure scientifique à l'UNC dans le cadre d'une thèse sur ce même thème mais appliqué aux mangroves. Notre volontaire au service civil Thomas Haize a lui intégré une nouvelle équipe sur un sujet similaire mais à une tout autre échelle, celle de l'Europe (<https://www.embl.org/about/info/trec/projects/>).



Transfert vers la société

Les données collectées seront une source d'information unique et devrait nécessiter encore de longs mois pour que nous soyons en mesure d'en évaluer la portée. Des liens ont été établis avec l'industrie minière dans le cadre du CNRT *Nickel et son environnement* (<https://cnrt.nc/>) pour analyser plus particulièrement l'influence des actions conduites depuis 50 ans pour minimiser l'impact de la mine sur l'environnement marin. L'utilisation d'archives sédimentaires sera évaluée comme outil de gestion à destination de ce secteur.

TÉMOIGNAGES



Raffaele Siano (Ifremer Brest),
Chercheur spécialiste de l'ADNe et de l'ADN ancien à l'Ifremer.

La matière organique, les métaux et les contaminants d'origine terrigènes transportés par des fleuves vers la mer ont un impact sur la biodiversité des écosystèmes côtiers. Les communautés de microorganismes (bactéries et protistes), en particulier, changent en fonction de ces forçages à la fois dans la colonne d'eau et dans les sédiments marins. Ces changements se répercutent sur toute la chaîne trophique côtière, l'étude de ces variations est la clé de la compréhension de l'évolution à long terme des écosystèmes côtiers. J'étudie la biodiversité et les dynamiques spatio-temporelles des microorganismes par ADN-environnemental, une approche plus précise que les méthodes traditionnelles d'analyse biologiques. Avec cette approche innovante on espère mieux comprendre la relation entre les forçages côtiers et la biodiversité le long du continuum terre mer en Nouvelle-Calédonie.



Naina Mouras
Doctorante à l'UNC

J'ai eu l'occasion de réaliser mon stage de fin de master en Nouvelle-Calédonie, sur un sujet passionnant. Pendant six mois, j'ai été impliquée à toutes les étapes de ce projet scientifique, depuis l'élaboration de la stratégie d'échantillonnage, sur le terrain jusqu'à l'analyse des données en laboratoire. Travailler aux côtés d'une équipe pluridisciplinaire de scientifiques passionnés a été une expérience d'apprentissage enrichissante. ECOMINE a renforcé mon intérêt pour la recherche, et j'ai décidé de poursuivre en doctorat, en explorant un thème similaire axé sur la compréhension de l'écosystème côtier calédonien.

FICHE PROJET

ECOMINE - Évolutions des COmmunautés Microbiennes aux exutoires des massifs MiniErs : L'ADNe comme outils de détection des changements environnementaux

Responsable : Hugues Lemonnier, Ifremer

10
personnes ayant travaillé sur le projet

4
Partenaires impliqués : IAC, IRD, Ifremer, IRD

19
mois

LA PRÉSENCE DE MÉTAUX DANS LES EAUX IMPACTE LA CROISSANCE DES MICROALGUES

Les microalgues se situent à la base de nombreuses chaînes alimentaires des écosystèmes marins et côtiers. Elles sont indispensables au développement et à l'équilibre de ces milieux. Notre projet s'est intéressé à l'impact des éléments traces métalliques (ETM) ou métaux lourds de plus en plus présents dans les eaux sur la croissance et le développement de ces micro-algues.



Photobioréacteur - © Vincent Meriot

Les rivières et cours d'eau transportent de nombreuses substances ou sédiments terrigènes vers le littoral. Ces substances contiennent des éléments traces métalliques qui se retrouvent naturellement dans les écosystèmes aquatiques de Nouvelle-Calédonie. Depuis quelques années, ce phénomène est amplifié en raison des activités anthropiques telles que la mine ou l'urbanisation. Ces oligo-éléments sont indispensables aux microalgues pour produire de la matière organique végétale à la base des réseaux trophiques marins, ou dans la synthèse des molécules d'intérêt qui sont recherchées dans les filières de l'économie bleue. Cependant, ces métaux peuvent en excès devenir toxiques, modifier la production du phytoplancton issue de la photosynthèse et par conséquent impacter le fonctionnement des écosystèmes côtiers et des économies associées.

FICHE PROJET

MICROCOMET - Réponse des microalgues côtières aux contraintes en éléments traces métalliques

Responsable : **Nicolas Lebouvier, UNC**

15
personnes ayant travaillé sur le projet

5
Partenaires impliqués :
UNC, CNRS, Ifremer,
Adecad Technopole,
Université de Marseille

19
mois

Par **Nicolas Lebouvier**

Nous nous sommes alors posé les questions suivantes :

- Quelle est la capacité des microalgues à se développer en présence de métaux ?
- Les microalgues bioaccumulent-elles les métaux ?
- Les métaux ont-ils un impact sur la production de molécules d'intérêt ?

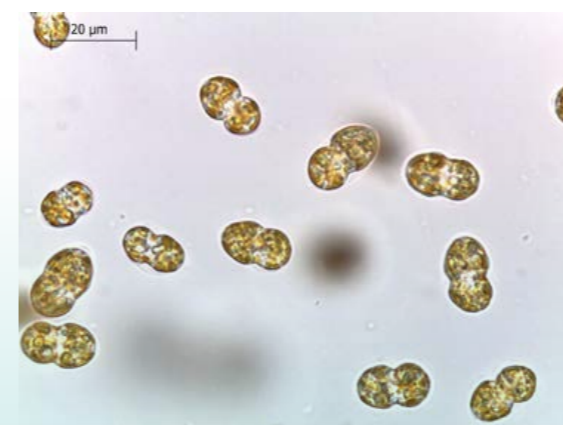
LES MÉCANISMES D'ACTION DES MÉTAUX RÉVÉLÉS

Les principaux résultats que nous avons obtenus après avoir cultivé la microalgue *Heterocapsa cf bohaisensis* dans des conditions contrôlées en présence de fortes concentrations de fer et de nickel dissous sont les suivants :

- La croissance et le développement de la microalgue *Heterocapsa cf bohaisensis* en présence de métaux dépend de la nature du métal. Cette espèce est très tolérante au nickel, mais est sensible aux concentrations de fer considérées comme toxiques pour d'autres espèces de microalgues. Le stress lié à la présence du fer a induit une réduction de l'efficacité de la photosynthèse.
- La microalgue étudiée peut accumuler dans ses tissus (bioaccumulation) le nickel et le fer dissous lorsqu'ils sont présents en forte concentration. Le risque de transfert des ETM contenus dans les microalgues du genre *Heterocapsa* vers les organismes bivalves tels que les huîtres ou les palourdes étant reconnu, nos résultats confirment le potentiel danger d'une contamination pour la santé humaine en cas de consommation de ces coquillages.
- La présence de nickel concentré dans le milieu de culture impacte la production de molécules chez la microalgue : la concentration en acide gras augmente fortement les premiers jours puis diminue progressivement. Ces résultats montrent que l'utilisation de métaux pourrait orienter la production de biomolécules d'intérêt chez *H. cf bohaisensis*, ce qui pourrait s'avérer intéressant pour les acteurs de la filière des microalgues.

UNE APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE

Pour obtenir ces résultats, nous avons mené une étude selon une approche regroupant plusieurs disciplines (l'écophysiologie¹, la métabolomique² et la transcriptomique³) afin de comprendre l'effet du fer et du nickel dissous sur une souche de microalgue. Nous avons choisi comme modèle des microalgues appartenant au genre *Heterocapsa* car elles sont présentes dans le lagon calédonien, et des espèces du même genre ont été isolées lors de marées rouges dans des bassins de crevettes. Cette espèce a été cultivée en laboratoire dans des photobioréacteurs⁴ en mode continu pendant deux semaines en présence de métaux. Au cours de ces expériences, les capacités photosynthétiques et de photoprotection de la microalgue ont été mesurées ainsi que les concentrations intra et extra cellulaires en métaux. La production d'acides gras, de pigments et de diverses molécules par la microalgue ont été analysées via des techniques de spectrométrie de masse et de résonance magnétique nucléaire. Parallèlement des prélèvements de microalgues ont été effectués et l'ARN⁵ extrait en vue de la mise à jour des voies cellulaires impliquées.



Microalgues du genre *Heterocapsa* - © Thierry Jauffrais

L'ensemble de l'approche a pour ambition de dresser un schéma détaillé de la réponse globale de *H. bohaisensis* à ces différents stress métalliques, corroboré par la confrontation des données d'expression génique, de physiologie et de métabolomique.

VERS UNE EXTENSION DU PROJET SUR D'AUTRES MICROALGUES ET D'AUTRES MÉTAUX

Il serait intéressant d'approfondir cette étude selon deux axes :

- L'application de la méthodologie développée sur une autre microalgue appartenant à une autre classe et présentant un intérêt en aquaculture afin d'identifier si nos résultats varient selon les espèces. Ce travail est déjà engagé dans le cadre de la thèse de Vincent Mériot, financée par la Province Sud, codirigée par l'Ifremer et l'UNC et en collaboration avec l'Adecad Technopole.
- L'élargissement à d'autres métaux également présents en Nouvelle-Calédonie dans les apports terrigènes, tel que le cobalt, le manganèse ou le chrome. L'usage d'un cocktail de métaux permettrait de mieux modéliser ce qui se passe dans l'environnement et d'affiner nos recommandations.



Transfert vers la société

Ces résultats constituent un premier pas dans la compréhension de l'adaptation des microalgues à de fortes concentrations en métaux dans les écosystèmes côtiers de Nouvelle-Calédonie. Ils apportent également un éclairage supplémentaire sur les mécanismes toxiques du fer chez les microalgues et sur la production de métabolites spécifiques d'intérêt. Ce travail permet de donner des recommandations aux acteurs développant des programmes de production de microalgues en Nouvelle-Calédonie. L'importance de la concentration métallique des eaux, l'usage de souches de microalgues adaptées au contexte de la Nouvelle-Calédonie ou l'utilisation de métaux pour doper la production de métabolites d'intérêt en sont quelques-unes.

¹ Discipline de la biologie qui étudie les réponses comportementales et physiologiques des organismes vivants à leur environnement.

² Étude scientifique de l'ensemble des métabolites de l'organisme (acides aminés, acides gras, sucres, etc.) et de leur rôle dans la croissance, la santé et les maladies.

³ Études de l'ensemble des molécules d'ARN

⁴ Dispositif permettant la production en laboratoire de micro-organismes photosynthétiques en suspension dans l'eau, tels que les microalgues

⁵ Molécule proche de l'ADN, jouant un rôle important dans le transport du message génétique et la synthèse des protéines

TÉMOIGNAGES



Nicolas Lebouvier

Maitre de conférences, ISEA, UNC

Le projet MICROMET a été l'occasion de réunir des scientifiques de différentes disciplines autour d'un sujet de recherche qui ciblait une problématique spécifique à la Nouvelle-Calédonie : le développement des microalgues en présence de forte concentration en métaux et notamment en nickel et en fer. Chaque chercheur apportant un regard différent sur l'impact de métaux en fonction de sa spécialité, cette approche pluridisciplinaire a généré de nombreuses données et informations dont nous allons poursuivre l'analyse et l'interprétation.



Noémie Coulombier

Ingénieur en biotechnologies, Adecad Technopole

Au-delà des résultats très intéressants que nous avons obtenus, ce que je retiens c'est le développement d'une méthodologie d'analyse d'une microalgue qui appliquée à d'autres espèces pourrait permettre le développement de projets économiques intéressants pour la Nouvelle-Calédonie.

DES MICROALGUES PRODUISENT DES EAUX COLORÉES DANGEREUSES POUR LA SANTÉ

Comme d'autres régions du monde, la Nouvelle-Calédonie est touchée par des phénomènes d'eau colorée : l'eau de mer passe du bleu au rouge, rose, ou encore marron. En Nouvelle-Calédonie, ces phénomènes sont essentiellement dus à la prolifération d'une microalgue cyanobactérienne *Trichodesmium erythraeum* et sont potentiellement toxiques pour les humains. Leur détection précoce pourrait permettre de prévenir le risque sanitaire.



Baie de Nakéty - © NMC

UNE APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE

Les services sanitaires des provinces de la Nouvelle-Calédonie sont régulièrement confrontés à des plaintes des usagers du littoral lorsque l'eau de mer change de couleur. Ce phénomène appelé « eau colorée » entraîne généralement une fermeture de l'accès aux plages par les autorités, sans savoir s'il existe un véritable risque infectieux. L'analyse des récents phénomènes d'eaux colorées en Nouvelle-Calédonie a pu montrer qu'ils étaient dus à la prolifération d'une microalgue : *Trichodesmium erythraeum*. Étudiée dans d'autres régions du monde, la survenance d'épisodes d'eau colorée est connue

Par Isabelle Biegala

pour être associée à la production de nombreuses toxines attribuées à d'autres microalgues, les dinoflagellés. Par ailleurs, en dehors de ces épisodes d'eau colorée, les baigneurs calédoniens se plaignent parfois de dermatose¹.

Nous avons donc cherché à savoir si ces phénomènes d'eau colorée étaient dangereux pour la population, et à identifier les organismes et les toxines associées aux dermatoses lors de la baignade.

Nous nous sommes posés les questions suivantes :

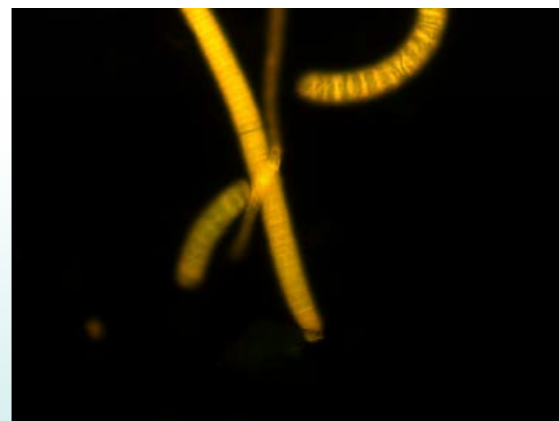
- Quelles microalgues présentes dans les zones de baignade sont potentiellement toxiques ?
- Quelles sont les familles de toxines produites par ces microalgues et en quelle quantité ?
- Les phénomènes d'eaux colorées sont-ils toxiques pour les humains ?
- Quels sont les indicateurs de prévention du risque sanitaire des eaux de baignade ?

DES RÉSULTATS QUI CONFIRMENT LE POTENTIEL TOXIQUE DES EAUX COLORÉES

Les résultats de nos travaux ont permis de répondre aux différentes questions que nous nous étions posées.

- L'analyse de l'eau prélevée au moment des dermatoses signalées en 2021 a révélé la présence de microalgues (cyanobactéries et dinoflagellés) et de zooplancton potentiellement toxique. Ces prélèvements ont pu être réalisés dans le bon timing grâce à la création de fiches épidémiologiques réalisées par l'IRD, l'ANSES, la DASS et le collectif de baigneurs dirigé par le docteur C. Grogard.
- Les toxines issues des microalgues de la famille des dinoflagellés ont été analysées à différentes saisons dans l'eau de mer en utilisant des capteurs de toxines dissoutes, et dans les coquillages bivalves filtreurs de plancton. Des toxines diarrhéiques, des neurotoxines et des toxines dites à action rapide ont été détectées dans la chair de coquillage. Ces résultats mettent en évidence de potentiels risques sanitaires en lien avec la consommation des mollusques bivalves filtreurs.
- L'analyse microscopique des phénomènes d'eaux colorées entre 2019 et 2023 a permis d'identifier que la microalgue *Trichodesmium erythraeum* était responsable de la coloration des eaux de 13 événements sur 14 rapportés par les usagers ou les autorités. 50% de ces événements se sont montrés toxiques pour les humains et les études génétiques ont confirmées le potentiel toxique de *Trichodesmium erythraeum*.
- L'identification visuelle de ces eaux colorées est un moyen simple de prévention du risque sanitaire et de mise en garde la population par une interdiction de baignade, ou de consommation des coquillages via la mise en place du drapeau rouge. Bien que différentes couleurs (rouge, rose, vert et beige ou marron) caractérisaient les échantillons nous n'avons pas pu établir un lien entre la couleur et l'intensité de la toxicité.

¹ Affections de la peau et des muqueuses, indépendamment de leur cause.



Trichodesmium spp. - © Isabelle Biegala

DE NOMBREUX ÉCHANTILLONS D'EAU ONT ÉTÉ ANALYSÉS PAR DES TECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES

Pour obtenir ces résultats nous avons analysé des banques de données génétiques sur les microalgues et le plancton de différents océans (Genbank et OGA de TARA-Océan). Nous avons collecté une soixantaine d'échantillons d'eau de mer provenant, soit des phénomènes d'eaux colorées du littoral des trois Provinces de la Nouvelle-Calédonie ; soit de la Baie des Citrons à Nouméa, notamment lors des signalements de dermatose ; soit au large à la station SPOT (South Pacific Ocean Time Series, 20°S ; 168°E). Sur ces échantillons des observations microscopiques ont été faites, ainsi que des mesures de concentrations en toxines (ELISA, HPLC) et des tests de toxicité *in vitro* sur cellules humaines, neuroblastes, dermatocytes et hépatocytes.

ÉTENDRE L'ÉTUDE POUR ÉVITER LE RISQUE SANITAIRE

Afin d'améliorer la prévision des épisodes d'eau colorée et d'éviter les risques sanitaires, il serait intéressant :

- D'approfondir **nos connaissances sur les facteurs environnementaux** déclencheurs des eaux colorées.
- De poursuivre la **caractérisation des nouvelles toxines** produites par *Trichodesmium erythraeum*.
- De développer **des nouveaux outils**, simples, rapides et peu onéreux, pour caractériser la toxicité des eaux colorées.
- De mettre en place **un système d'alerte** à la population sur le risque sanitaire de la baignade ou de la consommation des produits de la mer.



Transfert vers la société

Les résultats de ces recherches sont directement utilisables par les autorités sanitaires en confirmant le potentiel toxique des phénomènes d'eaux colorées issues de *Trichodesmium erythraeum*, ce qui justifierait l'interdiction d'usage du littoral (baignade et pêche) lors de ces épisodes.

Une communication sur l'explication de ce phénomène d'eaux colorées potentiellement toxiques serait utile à la population des trois provinces de Nouvelle-Calédonie, car il serait à distinguer de la ponte annuelle du corail qui produit aussi des eaux colorées fin novembre et début décembre.

TÉMOIGNAGES



Isabelle Biegala

Océanographe biologiste, chercheuse à l'IRD

Le projet SWIMTOX a été une formidable opportunité d'associer des disciplines très variées alliant les approches génétiques, moléculaires, cellulaires et épidémiologiques sur des microalgues, *Trichodesmium erythraeum*, bien connues des eaux tropicales et subtropicales. Nous avons pu confirmer le potentiel toxique pour l'homme de ce plancton lorsqu'il se développe en masse pour colorer l'eau. Ainsi de simples observations visuelles et microscopiques permettent d'aider les autorités à la prise de décisions pour prévenir le risque sanitaire lors de la baignade. Nous sommes fiers que le CRESICA de Nouvelle-Calédonie ait été pionnier en encourageant une approche transdisciplinaire qui pourra être déployée dans d'autres archipels du sud-ouest Pacifique et au-delà.

Muriel Hagen

Chargée d'études santé environnement, DASS

Le projet SWIMTOX a joué un rôle crucial en élucidant les signalements de piqûres et démangeaisons rapportés par les baigneurs dans les eaux littorales de Nouvelle-Calédonie. Les analyses des prélèvements d'eau de mer ont mis en évidence la présence de micro-organismes potentiellement associés à la production de toxines. Ces résultats fournissent à la DASS des éléments concrets d'explication à communiquer aux usagers concernés.

FICHE PROJET

SWIMTOX - Indicateurs des risques infectieux des eaux de baignade

Responsable : Isabelle Biegala, IRD

 **14**
personnes ayant travaillé sur le projet

 **5**
Partenaires impliqués :
CNRS, Ifremer, CNRS,
ANSES, DASS,
Collectif baigneurs

 **24**
mois

CRESICA

Le CRESICA, consortium pour la recherche, l'enseignement supérieur et l'innovation en Nouvelle-Calédonie, regroupe 9 établissements : le BRGM, le CHT, le Cirad, le CNRS, l'IAC, l'Ifremer, l'IPNC, l'IRD et l'UNC.

La valorisation du capital naturel, la santé ainsi que l'accompagnement de l'évolution institutionnelle, sociétale et culturelle sont trois piliers du projet scientifique partagé du CRESICA.

Pour en savoir plus : www.cresica.nc

Conception, vulgarisation scientifique : Frédérique Albain-Barrière

Coordination éditoriale : Marion Mastromauro-Auplat (CRESICA)

Relecture : Marion Mastromauro-Auplat (CRESICA)

+ rajouter les directeurs qui l'auront relu

Coordination du programme « Au fil de l'eau » : Claire Tatin (CRESICA)

PAO : Ylang Ylang communication - Impression : Graphoprint

Photo couverture : Martial Dosdane - Province Sud

Cet ouvrage doit être référencé comme suit : Collectif CRESICA (Consortium pour la recherche, l'enseignement supérieur et l'innovation en Nouvelle-Calédonie), 2023,

« Au fil de l'eau, quel bilan après trois années de recherche sur la thématique de l'eau en Nouvelle-Calédonie ? Phase 2 »



PHASE 2

Au fil de l'eau

Quel bilan après 3 années supplémentaires de recherche sur la thématique de l'eau en Nouvelle-Calédonie

Membres du CRESICA



Partenaires scientifiques également associés au programme « Au fil de l'eau »



Partenaires financiers du CRESICA



www.cresica.nc

contact@cresica.nc

[@cresica.nc](https://www.facebook.com/cresica.nc)