



Programme d'étude et de recherche 2012 - 2015

**Diatomées des rivières de Nouvelle-Calédonie:
Conception d'un atlas taxinomique et d'un indice de bio-
évaluation de la qualité écologique des cours d'eau à partir
des diatomées benthiques**

Phase 2

Compte rendu de terrain

Campagne 4 : mars-juin 2014



Sommaire

I	Introduction.....	4
II	Matériels et méthodes	5
II.1	Choix des stations de prélèvement	5
II.1.1	Difficultés rencontrées	6
II.1.2	Nomenclature du code des prélèvements	6
II.2	Prélèvements de terrain.....	7
II.2.1	Mesures <i>in situ</i> et prélèvements d'eau	7
II.2.2	Le prélèvement des diatomées	7
III	Mesures de laboratoire	9
III.1	Les descripteurs d'altération anthropique	9
III.2	Les descripteurs de la géo-hydrochimie naturelle	11
IV	Echantillonnage de la flore diatomique	12
IV.1	Campagne 4.....	12
V	Prélèvements d'eau.....	17

Liste des tableaux

Tableau I: Dates d'échantillonnage des stations des 3 premières campagnes de prélèvements diatomiques et correspondance avec les stations de des réseaux de suivi préexistant.....	13
--	----

Bibliographie	19
----------------------------	----

Annexes

Annexe I: Fiches stations Campagne 4

Annexe II: Coordonnées GPS des stations

Avant-propos

La situation particulière de la Nouvelle-Calédonie, « hotspot » de biodiversité (Myers et al., 2000) et parmi les premières réserves de gisements nickélifères (Mainguet, 2012), soumet ce "Caillou" à peine grand comme 2 fois la Corse, au défi de concilier exploitation des richesses minières et préservation de la richesse biologique.

L'extraction du minerai en carrières à ciel ouvert implique le décapage de la végétation et des horizons supérieurs du sol afin d'atteindre les couches d'intérêt. Outre l'aspect inesthétique de ces paysages dénudés, c'est toute la dynamique du bassin versant qui est bouleversée. Le sol ainsi dénudé est soumis à une lixiviation et à une érosion accélérées, les eaux de ruissellement charrient davantage de matériaux, modifiant la composition en éléments minéraux des cours d'eau en aval. Ce phénomène entraîne également des modifications physiques du cours d'eau. C'est en effet toute la dynamique sédimentaire qui est amplifiée. En tête de bassin et tant que la pente du cours d'eau permet le maintien de courant assez important, on assiste au dépôt des éléments les plus grossiers. Ces dépôts ou engravements entraînent par endroit une surélévation du fond du lit mineur, modifiant profondément l'hydrogéomorphologie du cours d'eau. Plus en aval, avec l'atténuation de la pente et le ralentissement de la masse d'eau, une sédimentation des matériaux les plus fins se produit et provoque le colmatage des différents habitats du lit mineur.

D'autre part, la perte du couvert végétal et des sols et de ses capacités d'infiltration et de rétention empêchent la recharge de la nappe phréatique sous-jacente, donc ses capacités de soutien des débits d'étiage en saison sèche. Ce dernier point est fondamental à la pérennité de populations micro-endémiques inféodées à la vie aquatique. Aujourd'hui, le confinement des déblais en « verses à stériles latéritiques », l'allègement des moyens de transport et de prospection, la revégétalisation et la mise en œuvre de plan de gestion des eaux intégrant des barrières de protection (drains, bassin de décantation,...) s'appliquent à renverser la tendance.

Mais d'autres menaces pèsent à l'échelle de la Grande-Terre et sont également à l'origine de l'érosion accélérée des sols. En effet, la disparition du couvert végétal liée aux feux de brousse intentionnels ou non ou à l'action des cerfs (*Cervus timorensis rusa*) et des cochons sauvages (*Sus scrofa*), espèces envahissantes, entraînent aujourd'hui une artificialisation des sols susceptible de générer les mêmes effets que l'exploitation minière.

L'urbanisation croissante, illustrée par le développement de la zone VKP (Voh, Koné, Pouembout), menace à son tour l'intégrité des cours d'eau, qui étaient déjà fragilisés par la pollution diffuse des effluents domestiques des villages peu pourvus en réseau d'assainissement ou par les effluents agricoles chargés en engrais et pesticides.

Fort de ce constat, les différentes collectivités calédoniennes ont récemment fait évoluer leurs politiques environnementales afin de mettre en place un développement économique durable. Avec l'entrée en vigueur en 2009 des différents Codes Provinciaux de l'Environnement, ainsi que du Code Minier Territorial, prescrivant pour tout projet d'aménagement, d'infrastructures industrielles, linaires, d'exploitation des ressources minérales (mines et carrières), l'obligation de qualifier, quantifier et suivre leurs impacts potentiels sur l'environnement et donc sur la ressource en eau, tant les opérateurs que les

gestionnaires ont aujourd'hui besoin de disposer d'un panel d'outils pertinents et opérationnels d'évaluation de « l'état de santé » des masses d'eau.

La gestion intégrée de la ressource en eau passe par le développement d'outils de gouvernance permettant de poser le cadre juridique et institutionnel de mise en œuvre des politiques de l'eau. Cette gestion nécessite également l'existence d'indicateurs robustes d'état de la qualité écologique des cours d'eau. En effet, ces indicateurs sont des outils de diagnostic indispensables permettant d'identifier les problèmes existant sur la qualité de l'eau (nature et localisation). Ils permettent alors d'orienter et de prioriser les actions à mener dans le cadre des stratégies ou politiques publiques déployées. En effet, leur suivi temporel permet de renseigner les commanditaires, organismes de tutelle, citoyens et autres usagers de la ressource en eau sur l'efficacité et l'efficience des actions engagées. Ces stratégies/politiques sectorielles s'inscrivent elles-mêmes dans des projets de plus grandes envergures (SNB, Schéma de développement durable du territoire calédonien, Stratégie régionale pour la Biodiversité du PROE¹). Ces outils de diagnostic deviennent de fait des outils de reporting de l'atteinte ou non des objectifs fixés par celles-ci.

En Nouvelle-Calédonie, seuls les invertébrés benthiques ont à ce jour fait l'objet d'études ayant abouti à la mise en place d'un bioindicateur pertinent et validé de la qualité écologique des masses d'eau de surface : l'Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie (IBNC). A partir des travaux menés sur cet indice spécifiquement dédié à la caractérisation des altérations organiques, un second indice plus spécifiquement dédié aux altérations « minérales » est en cours de développement (IBS - Indice BioSédimentaire). Quelques études sur les communautés piscicoles ont été réalisées, mais aucun indice valide n'est à ce jour disponible. Seul un maillon biologique permet donc à ce jour d'évaluer la qualité écologique des masses d'eau de surface calédoniennes. D'autre part, précisons également qu'à ce jour aucun bioindicateur pertinent du degré d'exposition des biocénoses aquatiques aux éléments traces métalliques (ETM), anciennement appelés "métaux lourds", n'existe pour les milieux dulçaquicoles calédoniens. En effet, les maillons « poisson » ou « macrocrustacés » les plus souvent utilisés pour retranscrire le degré d'exposition aux ETM, ne présentent pas toutes les caractéristiques requises pour ce type d'indicateur : le manque de sédentarité de ces derniers ne permet pas en effet d'affecter la charge métallique dosée au sein de ces modèles à la station où ils ont été collectés (Biotop, 2012).

Face à ce manque d'indicateurs et dans la lignée des conclusions émises à l'issue des Ateliers thématiques « eau douce », tenus en avril 2010, l'Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie et le CNRT-Nickel et son Environnement ont décidé de lancer un programme de Recherche et Développement ayant pour objectif la mise en place d'un nouvel indicateur, complémentaire à l'IBNC/IBS et basé sur l'étude des diatomées benthiques. D'autres partenaires pourront venir appuyer et compléter le financement de ce programme, à l'instar de la DAVAR², impliquée dans la seconde phase de l'étude. Ce projet prévoit 4 phases, la première, de 8 mois, est la phase d'étude de faisabilité. Elle correspond à la synthèse de données existantes et l'acquisition de données de terrain, comprenant une campagne de prélèvement des diatomées et leur inventaire préliminaire. La seconde phase,

¹ Programme Régional Océanien de l'Environnement

² Direction des Affaires Vétérinaires, Alimentaires et Rurales

de 21 mois, comprend 3 autres campagnes de prélèvements, l'illustration et la description des taxons. La troisième phase, de 12 mois, est consacrée à l'analyse biomathématique des données afin d'établir les profils écologiques des espèces, ainsi qu'à la rédaction du rapport final. La quatrième phase, d'un mois, est dédiée à la présentation des livrables. Un guide d'identification des principaux taxons présents en Nouvelle-Calédonie sera remis, la forme de ce guide restant encore à définir avec les maîtres d'ouvrage. Alors, un Indice Diatomique pour la Nouvelle-Calédonie (IDNC), toujours perfectible au fur et à mesure de son utilisation à l'instar de l'indice métropolitain, pourra être utilisé. Cette dernière phase comprend aussi l'accompagnement des acteurs locaux pour l'utilisation de l'indice par leur formation sous forme d'ateliers théoriques (présentation de la méthode et de l'indice) et pratiques (prélèvements *in situ*). Des réunions au cours de chaque phase sont prévues entre les membres du comité de pilotage de thèse, bailleurs de fonds du projet et coordinateurs scientifiques.

Cet indicateur biologique doit permettre (cf. expérience métropolitaine et réalisations réussies à la Réunion et aux Antilles) de mesurer l'état de santé des écosystèmes aquatiques de type cours d'eau et d'estimer les changements d'état sous l'effet de perturbations. En tant que producteurs primaires et donc à la base de la chaîne alimentaire, les diatomées jouent un rôle fonctionnel crucial au sein des écosystèmes. Les diatomées que l'on récolte sont des formes benthiques, c'est-à-dire peu mobiles. Tributaires de leur environnement, elles ne peuvent que s'adapter ou disparaître en cas de modifications de leur milieu, d'où leur intérêt particulier pour l'évaluation de l'état écologique des hydrosystèmes.

I Introduction

Avec l'entrée en vigueur en 2009 des différents **Codes Provinciaux de l'Environnement**, ainsi que du **Code Minier Territorial**, prescrivant pour tout projet d'aménagement, d'infrastructures industrielles, de linaires, d'exploitation des ressources minérales (mines et carrières), l'obligation de qualifier, quantifier et suivre leurs impacts potentiels sur l'environnement et donc sur la ressource en eau, tant les opérateurs que les gestionnaires ont aujourd'hui besoin de disposer d'un panel d'outils pertinents et opérationnels d'évaluation de « **l'état de santé** » des masses d'eau.

L'atelier « **eau douce** » organisé par l'OEIL en 2010 qui réunissait l'ensemble des acteurs traitant des milieux dulçaquicoles de la Nouvelle-Calédonie, l'une des actions phares identifiées retenue, a été la **mise en place d'un indice « diatomées »**. Le Gouvernement, le CNRT et l'OEIL, ont initié cette action en octobre 2012 sous la forme d'une étude de faisabilité, première étape d'un programme scientifique de 3,5 ans, faisant par ailleurs l'objet d'un travail de thèse.

Le projet vise à **apporter un outil complémentaire** des techniques actuellement disponibles (prélèvements physico-chimiques ponctuels, IBNC, IBS) et parfois insuffisantes ou inadaptées pour le diagnostic de l'état écologique des masses d'eau de surface calédoniennes. Cet outil s'inspirera fortement des outils « diatomées » existant en métropole et adaptés récemment avec succès dans les différents DOM (Réunion et Caraïbes). *In fine*, il s'agit de développer un indice diatomique opérationnel pour les rivières de Nouvelle-Calédonie accompagné de son guide taxinomique (amélioration des connaissances sur la biodiversité calédoniennes).

Les **diatomées** sont des **microorganismes unicellulaires** (solitaires ou coloniales) **phototrophes** (micro-algues). Leur caractéristique principale est leur **paroi extracellulaire de silice**, appelée le **frustule**, constitué de 2 valves emboîtées telles une "boîte à camembert", de **formes et d'ornementations variées**. Leur description spécifique est basée sur ces caractéristiques morphologiques.

Les diatomées colonisent la plupart des milieux aquatiques, **aussi bien en milieu marin qu'en eau douce** et vivent à l'état **planctonique** (dans la colonne d'eau) ou **benthique** c'est-à-dire fixées sur différents types de substrats. Ce sont ces dernières que l'on utilise pour la mise en œuvre des indices diatomiques des cours d'eau. En effet, la sédentarité de cet indicateur biologique permet l'**intégration des paramètres physico-chimiques** sur le lieu même du relevé.

Les principaux avantages des diatomées comme **bio-indicateurs** sont :

- une **répartition importante** dans toutes les rivières,
- un **échantillonnage rapide et « facile »**,
- un cycle cellulaire rapide et par voie de conséquence une **réaction rapide aux perturbations**,
- une relative insensibilité à l'hydromorphologie, une **plus grande sensibilité à la chimie** du milieu,
- une technique de **comptage au microscope** « rapide » et fidèle,
- un nombre de cellules par unité de surface de substrat très importante, ce qui rend l'**évaluation des comptages aléatoires** excellente,
- les **besoins écologiques** des diatomées peuvent être connus facilement,

- des **enregistrements permanents** et la facilité de **stockage** peuvent être faits pour chaque échantillon.

II Matériels et méthodes

II.1 Choix des stations de prélèvement

Afin de prendre en considération la variabilité naturelle et les gradients d'altération, le choix des stations s'est appuyé d'une part sur les différentes hydroécorégions (HER) de la Grande Terre (Asconit, Biotop, 2011), qui sont définies comme de vastes ensembles relativement homogènes en termes de géologie, relief et climat (Wasson et *al.*, 2004). La Grande Terre est ainsi découpée en 6 HER notées de B à G (l'HER A correspond aux îles Loyauté). Ce choix s'est déterminé d'autre part sur une sélection de stations dont le type et le degré d'altération sont connus de façon certaine ou probable.

Forts de l'expérience acquise lors de la conception de l'indice diatomique à la Réunion (IDR) et en Guadeloupe-Martinique (IDA), il est important d'obtenir des données tant physico-chimiques que biologiques relatives à des situations très peu impactées (que l'on définira comme « références »), modérément impactées et très polluées. La qualité des gradients représentés est essentielle pour la définition du profil des espèces vis-à-vis des altérations et pour la qualité finale de l'outil indiciel produit.

Les impacts considérés sont essentiellement d'origine domestique, agricole et minière. Ces impacts rassemblent donc les pollutions organiques et/ou minérales et/ou toxiques avec des effets délétères plus ou moins avérés.

Il est très difficile de cerner de manière spécifique un type de pollution, les pollutions étant généralement mixtes ; l'agriculture enrichit les milieux par des apports minéraux via les engrais et génère aussi des contaminations toxiques par les pesticides utilisés.

Cependant, la stratégie adoptée dans le choix des stations tente d'obtenir des informations sur la réponse des communautés diatomiques à un type de pollution aussi spécifique que possible.

La bioindication à l'aide des diatomées benthiques est jusqu'ici limitée au milieu dulçaquicole. Les eaux saumâtres rencontrées lors de la prospection des sites d'échantillonnage ne peuvent être considérées comme de potentiels lieux de détection d'altération en réseau de surveillance. Néanmoins, des sites ont été prélevés afin de définir des espèces caractéristiques de ces milieux saumâtres en vue de discriminer des espèces spécifiques de milieux sous influence haline, en milieu altéré et relativement préservé.

Le choix des stations s'appuie également sur celles du réseau de surveillance des 5 bassins versants (Dumbéa, La Foa, Néra, Koné, Pouembout) mis en place par la DAVAR, afin de bénéficier du suivi des paramètres physico-chimiques préexistants. Ces 5 bassins versants ont leur partie basse qui appartient à l'HER B, situé sur la côte ouest, la plus densément peuplée. Les têtes des 4 derniers bassins versants susmentionnés appartiennent à l'HER G reposant principalement sur les unités métamorphiques de la chaîne centrale, alors que le bassin de la Dumbéa s'écoule sur sa partie haute sur l'unité ultramafique de l'HER E.

Les réseaux des miniers sont aussi apparus comme un facteur dans le choix du positionnement des stations de manière pertinente avec l'altération envisagée, toujours dans l'optique de bénéficier de données préexistantes.

II.1.1 Difficultés rencontrées

Une des difficultés est de discriminer la part de l'altération anthropique et naturelle, comme l'érosion des sols due au décapage minier ou au lessivage naturel, renforcé par la disparition du couvert végétal par les feux, les cochons sauvages et le broutage par les cerfs.

Que ce soit les stations de référence ou impactées, il est possible que les classes de qualité attribuées *a priori* (référence, altération domestique et/ou agricole, impact de la mine) soient imparfaites. Les résultats des mesures physico-chimiques guideront l'appréciation envisagée.

II.1.2 Nomenclature du code des prélèvements

Les codes des prélèvements sont attribués de manière à répondre aux exigences de lecture des données statistiques et à la standardisation des informations. Un numéro d'ordre à 5 caractères est utilisé.

Un code de 3 lettres et 2 chiffres a été attribué pour chacun des prélèvements, la nomenclature est détaillée ci-dessous:

Nom du cours d'eau (3 lettres)	Station de prélèvement	N° de campagne
--------------------------------	------------------------	----------------

Exemple:

KAO	2	2
-----	---	---

KAO: Rivière des Kaoris

2: Station aval

2: Campagne 2

Le nom du cours d'eau en 3 lettres reprend généralement les 3 premières lettres du nom du cours d'eau, mais il y a de nombreuses exceptions:

- 2 cours d'eau possèdent les 3 mêmes premières lettres, la Wanebwayo et la Wano, alors respectivement notés WAN et WAO,
- s'il s'agit d'un bras du cours d'eau principal, comme la Dumbéa branche Nord notée DMN, ou la Taléa branche Sud, notée TLS,
- s'il s'agit d'un affluent anonyme sur les cartes d'un cours d'eau baptisé, alors le code commence par la lettre A (pour affluent), et est suivi de 2 lettres nommant le cours d'eau récepteur, comme l'affluent de la Dothio, nommé ADO,
- si le cours d'eau n'a pas de nom et se jette dans un cours d'eau tout aussi anonyme sur les cartes, le cas se pose parfois sur mines, alors le nom donné

se base sur le nom de la station préexistante du minier, comme la station sur la mine de Kopeto, nommée EGL,

- sur carte, le cours d'eau est nommé seulement dans sa partie aval, pour connaître l'affectation du cours d'eau plus en amont au niveau du tronçon échantillonné, la méthode de rang de Strahler a été utilisée. Ainsi, les stations KAA sont définies comme appartenant au Mwe Kara Awi,

Le premier chiffre qui suit le nom correspond à la situation de la station le long du cours d'eau. Par défaut, le chiffre 1 est utilisé quand il y a une seule station sur le cours d'eau. Quand il existe plusieurs stations sur le cours d'eau alors la numérotation est croissante de l'amont vers l'aval. Lors de la seconde campagne de prélèvement, si une station a été positionnée plus en amont que la station la plus amont de la campagne précédent, alors elle est notée 0 pour sa position sur la rivière sinon elle est notée 9. Le second numéro est celui du numéro de campagne.

II.2 Prélèvements de terrain

II.2.1 Mesures *in situ* et prélèvements d'eau

Les relevés de température, de conductivité, de concentration en oxygène dissous et de pourcentage en oxygène dissous, sont systématiquement effectués lors du prélèvement biologique à l'aide de sondes transportables.

Les échantillons sont conservés en glacières à 4 °C environ. Ils sont stockés dans une seule et même bouteille PET à bouchon pour tous les paramètres traités par un même laboratoire, tant que le volume est suffisant pour l'ensemble des analyses. La filtration des échantillons est réalisée par les laboratoires lors de la réception des échantillons.

Les prélèvements se font en respectant quelques consignes importantes:

- rincer 2 à 3 fois la bouteille (si elle ne contient pas de conservateur!),
- prélever dans la veine d'eau principale, hors d'une zone de remous, en amont de l'opérateur (et de tout autre perturbation passagère), au milieu de la colonne d'eau sur la station,
- remplir complètement la bouteille en évitant de piéger une bulle d'air,
- étiqueter l'échantillon pour identification.

II.2.2 Le prélèvement des diatomées

La méthode de prélèvement s'inspire de la norme IBD (NF T 90-354) de décembre 2007 dont certaines recommandations sont rappelées ci-dessous. Ces préconisations visent à donner une bonne représentativité de la flore diatomique au niveau de la séquence échantillonnée afin de révéler au mieux la physico-chimie du cours d'eau à l'échelle du tronçon évalué. De plus, la norme permet de standardiser la méthode de prélèvement entre les opérateurs, étape préliminaire à l'analyse des résultats et source de variation entre les résultats finaux.

Les caractéristiques de la station de prélèvement (aspect de l'eau, régime hydraulique...) et le prélèvement en lui-même (type de substrat, hauteur d'eau au niveau du prélèvement, type de fixateur...) sont consignées sur la fiche station en Annexe I.

De manière générale, les prélèvements ont été réalisés selon la norme:

- ✓ à l'étiage, en zone lotique,
- ✓ sur substrat dur naturel stable, immergé en permanence ou depuis 4 semaines au moins,
- ✓ dans la zone de courant principal,
- ✓ en zone éclairée et euphotique,
- ✓ un seul échantillon est réalisé par station pour un seul type de support,
- ✓ une surface minimale de 100 cm², correspondant à au moins 5 pierres, doit être échantillonnée. La pression d'échantillonnage doit être augmentée lorsque les quantités de biofilm sont faibles (cours d'eau très oligotrophes, notamment sur substrats ultramafiques),
- ✓ L'échantillon récolté est immédiatement fixé au formol neutralisé (à 35%) pour un volume d'environ 10% celui de l'échantillon (soit 7 à 10 ml).

Par rapport à la métropole, la surface échantillonnée dans les conditions locales doit être plus élevée que celle préconisée dans la norme en raison de la relativement faible abondance du biofilm dans certains cas (substrats ultramafiques et eaux ultraoligotrophes). La quantité de fixateur peut être augmentée en cas de présence de matière organique importante dans l'échantillon au moment du prélèvement.

La plupart des stations répondent à ces critères de prélèvement. L'ensemble de ces détails est renseigné sur la fiche station, témoin de l'échantillonnage. Elle permet de situer dans l'espace et dans le temps le prélèvement et renseigne les caractéristiques principales de la station utiles à l'interprétation des données floristiques. Les fiches stations sont illustrées par un schéma et une série de photos.

Le prélèvement s'effectue à l'aide d'une brosse à dents neuve. La face supérieure du substrat est frottée au-dessus d'une bassine, comme illustré par la Figure 1, préalablement rincée énergiquement dans l'eau de la rivière afin de la débarrasser d'un maximum de contamination diatomique exogène. La récolte sous forme de "jus" est récupérée dans un pilulier double capsules neuf. Il est étiqueté avec le nom de la station, la date et l'heure de prélèvement. L'échantillon est fixé au formol, quelques gouttes suffisent. La bassine est de nouveau rincée. La station est ensuite décrite en renseignant la fiche station, le point GPS est enregistré et des photos sont prises.



Figure 1: Récupération du biofilm à l'aide d'une brosse à dents.

III Mesures de laboratoire

L'ensemble des résultats des paramètres physico-chimiques de la première campagne de prélèvement sont disponibles en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et les bulletins d'analyse en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. L'ensemble des résultats des analyses de la seconde campagne de prélèvement est attendu courant décembre.

III.1 Les descripteurs d'altération anthropique

Ces paramètres peuvent varier naturellement mais l'action de l'homme a une grande incidence sur leur évolution en termes d'amplitude et de vitesse de changement de concentrations.

Ammonium: l'azote réduit soluble se retrouve sous 2 formes: l'ion ammonium (NH_4^+) et la forme non dissociée, en milieu basique, l'ammoniaque (NH_3). Cette dernière forme est peu soluble et se retrouve alors à l'état gazeux (l'ammoniac), toxique pour les poissons par diffusion à travers les membranes. De plus, la dégradation de l'ammonium en nitrates en milieu oxydant abaisse la concentration en O_2 du milieu. L'ammonium, issu des phénomènes d'ammonification (dégradation) de la matière organique (aval d'élevages ou de STEP³) ou de lixiviation d'engrais ammoniés, est un témoin d'altération anthropique.

Nitrates: c'est la forme azotée issue de la minéralisation des matières organiques fermentescibles. Ses concentrations sont naturellement faibles en l'absence d'activité humaine, néanmoins très variable selon la saison et l'origine des eaux (Nisbet et Verneaux, 1970). Les principales sources de contamination des eaux de surface sont la lixiviation des engrais azotés et les effluents domestiques. Les diatomées répondent à ce paramètre en complément avec les orthophosphates, et entrent dans 7 classes de qualité trophique (Van Dam et al., 1994).

Nitrites: forme transitoire entre NH_4^+ et NO_3^- lors du phénomène de nitrification, c'est un indicateur de l'intensité de minéralisation des matières organiques fermentescibles. Très toxique pour les poissons, il est normalement en concentration peu élevée.

³ STation d'EPuration

Azote Kjeldahl (AKJ): il désigne la totalité de l'azote organique contenu dans une eau, incrémenté de l'azote ammoniacal (NTK = N organique + N ammoniacal). Des valeurs élevées témoignent de rejets organiques excessifs, d'anaérobiose du milieu ou encore de présence de matières toxiques, ces 2 derniers phénomènes bloquant les processus d'oxydation de la matière organique.

Azote (N) total dissous: c'est l'ensemble de l'azote organique (nitrates et nitrites) et minéral, ce dernier incluant l'azote ammoniacal.

Phosphore Total Dissous: il comprend les molécules de phosphates minéraux (orthophosphates et polyphosphates) et les phosphates organiques.

Orthophosphates ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{2-}): ce sont des sels minéraux de l'acide phosphorique (H_3PO_4), ils sont issus de la dégradation des phosphates par les bactéries. En l'absence d'anthropisation, les concentrations sont très faibles et liées à la biogéochimie du terrain. En concentrations limitantes, ils sont très vite assimilés par les végétaux, ils peuvent donc passer inaperçus alors que le milieu est eutrophisé. La source principale de rejet est liée aux effluents domestiques (détergents, eaux usées), aux eaux usées d'élevage et à la lixiviation (moins forte que pour les nitrates) des engrais phosphatés. En complément avec les nitrates (Van Dam et *al.*, 1994), les diatomées répondent de façon très sensible à ce paramètre qui revêt une importance déterminante dans le processus d'eutrophisation des cours d'eau et des plans d'eau.

DBO5 ($mg(O_2)/l$): la Demande Biologique en Oxygène, mesure la quantité d'oxygène consommée durant une incubation de 5 jours à 20 °C par les micro-organismes pour oxyder la matière organique. C'est donc une estimation de la quantité de matière organique biodégradable. Ce paramètre est souvent révélateur d'une altération anthropique par l'enrichissement du milieu en matières organiques. Les diatomées répondent aux différentes concentrations en matière organique, et sont réparties en 5 classes de qualité (Van Dam et *al.*, 1994).

DCO ($mg(O_2)/l$): la Demande Chimique en Oxygène mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique contenue dans un échantillon, y compris la plus réfractaire. C'est donc une mesure approchée du carbone organique total.

MES (mg/l): les Matières En Suspension comprennent les matières minérales et organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Influencées par le régime hydraulique, ses concentrations varient avec les saisons. Elles peuvent rendre compte d'une altération liée à l'érosion d'origine anthropique.

III.2 Les descripteurs de la géo-hydrochimie naturelle

Ces paramètres, essentiellement liés aux conditions naturelles environnantes, peuvent toutefois s'avérer des marqueurs de dégradation anthropique pour des teneurs ou des variations hors normes.

Calcium: issu du lessivage des roches (composition des roches sédimentaires rencontrées), sa concentration est variable selon la nature du terrain traversé, sa concentration est faible sur terrain ultramafique.

Magnésium: de la même origine que le calcium, sa concentration est très forte sur substrat ultramafique.

Dureté totale: c'est un indicateur de la teneur en ions calcium et magnésium. En Nouvelle-Calédonie, le rapport calcium sur magnésium est très faible sur sol ultramafique.

Chlorures et sodium: descripteurs des influences halines à proximité du littoral. Une forte concentration peut aussi indiquer une pollution par des eaux usées domestiques (sels régénérant des détergents) ou d'usages industriels.

Sulfates: ils caractérisent une nature géologique régionale des terrains traversés par le cours d'eau ou certains effluents anthropiques. Issus de l'oxydation de sulfures présents dans les sols/roches/sédiments, présents naturellement dans certains vertisols⁴ calédoniens (Podwojewsky, 1988). En quantité importante, ils marquent une intrusion marine.

Potassium: sa source principale est l'altération météoritique des roches contenant du potassium, comme le feldspath. Il peut aussi provenir du lessivage des sols amendés par des engrais. Sa teneur est relativement élevée en mer par rapport aux eaux de rivières.

Aluminium, Chrome, Cobalt, Fer, Nickel: ces éléments se trouvent en solution ou complexés, influençant leur biodisponibilité, selon entre autre, le pH de l'eau. Les teneurs en chrome, cobalt et nickel sont relativement importantes sur sols ultramafiques.

Silicium: le silicium se trouve sous forme H_4SiO_4 , c'est une espèce dissoute neutre. Sa solubilité dépend du pH en milieu basique. Les sols ultramafiques sont très pauvres en silicium qui entre dans la composition de la paroi des diatomées. Cependant, les eaux des nappes et leur écoulement en surface sont concentrés en silicium. Il n'a pas été trouvé à ce jour dans la littérature de concentrations limitantes en Nouvelle-Calédonie par les précédentes recherches (Moser et al., 1999).

Titre Alcalimétrique Complet: le TAC (ou alcalinité totale) dose les carbonates, les bicarbonates et les hydroxydes. Il peut être rapporté au dosage des carbonates et hydrogénocarbonates qui sont les variables de l'alcalinité dont cette dernière espèce est largement majoritaire. Ils représentent surtout les sites les plus carbonatés arrivés à saturation en hydrogénocarbonates $H_2CO_3^-$ et HCO_3^- . C'est un bon indicateur de

⁴ sols riches en argile de type smectite, anciennement appelés «argile noire tropicale»

conditions chimiques naturelles représentant bien le gradient entre des eaux peu minéralisées et acides et des eaux géochimiquement très minéralisées et plutôt basiques. il peut aussi, dans les très fortes valeurs, représenter une forte altération anthropique alcalinisante (rejets basiques de certaines STEP, d'industries chimiques et agro-alimentaires...).

IV Echantillonnage de la flore diatomique

Le Tableau I regroupe l'ensemble des stations de l'ensemble des campagnes de prélèvement avec les dates de passage et leur correspondance avec les stations de suivi préexistantes. Les fiches stations de la campagne 4 est disponible en Annexe I.

IV.1 Campagne 4

L'échantillonnage de la flore des diatomées sur le territoire lors de cette 4^{ème} campagne de terrain a été réalisé du 31 mars 2014 au 17 juin 2014. Ce sont 55 stations qui ont été échantillonnées.

La station non échantillonnée et non remplacée en comparaison avec les campagnes précédentes est NER1, située sur la Nera, sous influence haline.

Les nouvelles stations, appartenant au réseau de suivi physico-chimique de la DAVAR, qui ont fait l'objet d'un prélèvement lors de cette campagne sont :

- la station DMS1, située sur la Dumbéa branche Sud, équivalente à la station DUMB350,
- la station BOG9, située sur la Boghen, vallée Bellepatrone, équivalente à la station BOGH500 (code DAVAR),
- la station KON9, située sur la Kone, en aval de la tribu Netchaot, équivalente à la station KONE310 (code DAVAR),
- la station POU8, située sur la Pouembout, au niveau de la passerelle Margueritte, équivalent à la station POU8700 (code DAVAR).

Tableau I: Dates d'échantillonnage des stations des 3 premières campagnes de prélèvements diatomiques et correspondance avec les stations de des réseaux de suivi préexistant.

Commune	Cours d'eau	Code station	Date de prélèvement				Localisation/stations réseaux de suivi (code DAVAR)
			Campagne 1	Campagne 2	Campagne 3	Campagne 4	
Thio	Affluent Dothio	ADO1	07/12/2012	18/06/2013	20/11/2013	02/05/2014	WELINGTON (code SLN)
Pouembout	Affluent Papainda	APA1	26/11/2012		15/10/2013	08/04/2014	PAP100 (code SLN)
Pouembout	Affluent Peoue	APE1	27/11/2012		14/10/2013	07/04/2014	K10-501 (code SLN)
Boulouparis	Affluent Wano	AWA1	10/12/2012		26/09/2013	10/04/2014	OPOUE nord (code SLN)
Mont-Dore	Baie Nord	BAN1	26/10/2012	12/06/2013	21/11/2013	26/04/2014	6T (code vale)
Mont-Dore	Baie Nord bras Nord	BNN1	26/10/2012	12/06/2013	21/11/2013	26/04/2014	6-BNOR1 (code vale)
Mont-Dore	Baie Nord bras Sud	BNS1	26/10/2012	12/06/2013	21/11/2013	26/04/2014	6-AFF (code vale)
Bourail	Boghen	BOG1	24/10/2012	21/07/2013	02/10/2013	01/05/2014	BOGH050
Bourail	Boghen	BOG2	24/10/2012	21/07/2013	02/10/2013		aval BOGH325
Bourail	Boghen	BOG3	24/10/2012	21/07/2013	02/10/2013	01/05/2014	BOGH600
Bourail	Boghen	BOG9				01/05/2014	BOGH500
Voh	Coco	COC1	19/12/2012	16/06/2013	23/11/2013	17/06/2014	SW016 (code KNS)
Ouegoa	Diahot	DIA1	28/10/2012	15/06/2013	24/11/2013	01/05/2014	aval DIA025
Ouegoa	Diahot	DIA2	28/10/2012				amont DIA400
Ouegoa	Diahot	DIA3	28/10/2012				amont DIAH500
Dumbea	Dumbea branche Nord	DMN1	24/10/2012				aval DUMB050
Dumbea	Dumbea branche Sud	DMS1				03/05/2014	DUMB350
Bourail	Douencheur	DOU1	23/10/2012	21/07/2013	01/10/2013	01/05/2014	amont DOUE050
Bourail	Douencheur	DOU2	23/10/2012	21/07/2013	01/10/2013		DOUE300
Bourail	Douencheur	DOU3	23/10/2012	21/07/2013	01/10/2013	01/05/2014	aval DOUE400
Bourail	Douencheur	DOU9		21/07/2013	01/10/2013	01/05/2014	DOUE100
Dumbea	Dumbea	DUM0		13/06/2013	25/11/2013	03/05/2014	-
Dumbea	Dumbea	DUM1	24/10/2012				DUMB700

Commune	Cours d'eau	Code station	Date de prélèvement				Localisation/stations réseaux de suivi (code DAVAR)
			Campagne 1	Campagne 2	Campagne 3	Campagne 4	
Dumbea	Dumbea	DUM9			25/11/2013	03/05/2014	DUMB550
Pouembout	Affluent Papainda	EGL1	26/11/2012		17/10/2013	08/04/2014	EGL100 (code SLN)
La Foa	Fonwhary	FON1	22/10/2012	16/06/2013	20/11/2013	02/05/2014	aval FONW100
Koumac	Fridoline	FRI1	15/11/2012	12/08/2013	11/09/2013	31/03/2014	aval FRIDOLINE CENTRE (code SLN)
Hienghene	Hienghene	HIE1	17/11/2012	16/06/2013	08/11/2013	29/04/2014	aval HIEN200
Poya	Mwe Kara Awi	KAA1	29/10/2012		18/09/2013	03/04/2014	DOLREF (code SLN)
Poya	Mwe Kara Awi	KAA2	29/10/2012				DOL1 (code SLN)
Poya	Mwe Kara Awi	KAA3	29/10/2012		18/09/2013	03/04/2014	DOL2 (code SLN)
Mont-Dore	Kaoris	KAO1	30/11/2012				-
Mont-Dore	Kaoris	KAO2	13/11/2012	12/06/2013	21/11/2013	26/04/2014	aval KAOR100R
Païta	Karikouie	KAR1	22/10/2012	13/06/2013	20/11/2013	03/05/2014	amont KARIK100
Païta	Karikouie	KAR2	22/10/2012	13/06/2013	20/11/2013	03/05/2014	amont KARIK400
Kone	Kone	KON0		20/07/2013		15/04/2014	KONE360
Kone	Kone	KON1	21/10/2012	14/06/2013	23/11/2013		KONE400
Kone	Kone	KON2	20/10/2012	14/06/2013	23/11/2013	16/04/2014	KONE950
Kone	Kone	KON9				15/04/2014	KONE310
Mont-Dore	Kue	KUE3			21/11/2013	26/04/2014	amont 1-E
La Foa	La Foa	LAF0			20/11/2013		amont LAFOA325
La Foa	La Foa	LAF1	22/10/2012	18/06/2013		02/05/2014	LAFOA325
La Foa	La Foa	LAF2	22/10/2012	18/06/2013	20/11/2013	02/05/2014	LAFO600
Yaté	Mamie	MAM1	13/12/2012	13/06/2013	21/11/2013	27/04/2013	aval MAMIE200
Bourail	Wa Menao	MEN1	23/10/2012	21/07/2013	01/10/2013	01/05/2014	BoueregaouC1
Moindou	Moindou	MOI1	21/10/2012	18/06/2013	06/12/2013	02/05/2014	aval MDOU550
Bourail	Nera	NER1	24/10/2012	21/07/2013	02/10/2013		amont NERA100
Bourail	Nera	NER2	23/10/2012				aval NERA100

Commune	Cours d'eau	Code station	Date de prélèvement				Localisation/stations réseaux de suivi (code DAVAR)
			Campagne 1	Campagne 2	Campagne 3	Campagne 4	
Koumac	Nomac	NOM1	27/10/2012	12/08/2013	24/11/2013	01/04/2014	NomacF1
Koumac	Ouambaye	OUA1	21/11/2012		10/09/2013		OUAB01 (code SLN)
Koumac	Ouambaye	OUA2	21/11/2012		10/09/2013	01/04/2014	Ouambaye (code SLN)
Yaté	Creek Pernod	PER1	26/10/2012				5 (code vale)
Pouembout	Pouembout	POU1	20/10/2012		23/11/2013	15/04/2014	POUE100
Pouembout	Pouembout	POU2	20/10/2012		23/11/2013		aval POUE600
Pouembout	Pouembout	POU3	20/10/2012				POU800
Pouembout	Pouembout	POU8				15/04/2014	POUE700
Pouembout	Pouembout	POU9		20/07/2013			POUE300
Yaté	Rivière des Lacs	RIL1	09/11/2012	12/06/2013	21/11/2013	26/04/2014	1 (code vale)
Yaté	Rivière des Lacs	RIL2	09/11/2012	13/06/2013	21/11/2013	27/04/2014	3 (code vale)
Ouegoa	Tade	TAD1	28/10/2012	15/06/2013	24/11/2013	30/04/2014	TADE100
Tao	Tao	TAO1	17/11/2012	15/06/2013	08/10/2013	29/04/2014	aval TAO050
Ponhérihouen	Tchamba	TCH1	21/10/2012	14/06/2013	08/12/2013	29/04/2014	TCHA150
Ponhérihouen	Tchamba	TCH2	21/10/2012				amont TCHA400
Bourail	Tene	TEN0		21/07/2013	01/10/2013	01/05/2014	aval TENE050
Bourail	Tene	TEN1	23/10/2012				TENE050
Poindimié	Tiwaka	TIW0		14/06/2013	07/12/2013		TIWA200
Poindimié	Tiwaka	TIW1	21/10/2012	14/06/2013	07/12/2013	29/04/2014	aval TIWA200
Poindimié	Tiwaka	TIW2	21/10/2012			29/04/2014	amont TIWA350
Poindimié	Tiwaka	TIW3	21/10/2012	14/06/2013			entre TIWA425 et TIWA450
Voh	Talea branche Nord	TLN1	19/12/2012	16/06/2013	22/10/2013	17/06/2014	SW011 (code KNS)
Voh	Talea branche Sud	TLS1	19/12/2012	16/06/2013	22/10/2013	17/06/2014	SW013 (code KNS)
Yaté	Wadjana	WAD1	13/12/2012				amont WAJA100R
Yaté	Wadjana	WAD2	13/12/2012	12/06/2013	21/11/2013	26/04/2014	entre WAJA200 et WAJA300

Commune	Cours d'eau	Code station	Date de prélèvement				Localisation/stations réseaux de suivi (code DAVAR)
			Campagne 1	Campagne 2	Campagne 3	Campagne 4	
Houaïlou	Wanebwayo	WAN1	07/12/2012		25/09/2013	05/05/2014	WANEBWAYO (code SLN)
Boulouparis	Wano	WAO1	10/12/2012		26/09/2013	10/04/2014	WANO aval (code SLN)
Mont-Dore	Yahoué	YAH1	07/11/2012	13/06/2013	25/11/2013	02/05/2014	amont YAHOUJEC1
Mont-Dore	Yahoué	YAH2	07/11/2012	13/06/2013	25/11/2013	02/05/2014	YAH0300

V Prélèvements d'eau

La campagne de prélèvement d'eau a été couplée à la campagne d'échantillonnage de la flore benthique pour l'ensemble des stations prélevées, afin de compléter les paramètres non suivis par les réseaux partenaires.

Lors de cette 4^e campagne, seuls 3 prélèvements n'ont pas fait l'objet d'analyses physico-chimiques par le biais du réseau Asconit/Biotop, analyses effectuées par l'IRD Nouméa, au Laboratoire des Moyens Analytiques. Ce sont les stations COC1, TLN1 et TLS1, appartenant au réseau KNS, qui analysent l'ensemble des paramètres requis pour l'élaboration de l'indice diatomique.

L'ensemble des résultats physico-chimique est attendu courant septembre 2014.

Bibliographie

Asconit Consultants & Biotop Environnement, (2011). Définitions des HydroEcoRégions de Nouvelle-Calédonie dans le cadre des conseils de l'eau. Rapport du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie (Direction des Affaires Vétérinaires, Alimentaires et Rurales) et de la Province Sud (Direction de l'Environnement de la Province Sud). 40 pp.

Asconit Consultants & IRSTEA (2013). Diatomées des rivières de Nouvelle-Calédonie : Conception d'un atlas taxinomique et d'un indice de bio-évaluation de la qualité écologique des cours d'eau à partir des diatomées benthique - Rapport de terrain : 1ère campagne. 52 p.

Biotop, (2012). Suivi de la faune dulçaquicole de la ZES du Projet Koniambo suivi 2011 - 2012.

Météo France, (2013). Bulletin Climatique de la Nouvelle-Calédonie Août 2013, 6 p.

Mainguet, Y., (2012). Quel trésor sous terre ?, Les Nouvelles calédoniennes, 19/11/2012, pp. 12–13.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities, 403 (February), 853–858.

Nisbet M. & Verneaux J. (1970). Composantes chimiques des eaux courantes, Annales de limnologie T, 6, Fasc, 2.

Wasson, J.G, Chandesris, A., Pella, H. & Blanc, L. (2004). Typologie des eaux courantes pour la Directive Cadre Européenne sur l' Eau : l' approche par Hydro-écorégion. 5ème séminaire REGLIS Mise en place de systèmes d'information à références spatiales (SIRS), Montpellier, 13-14 novembre 2003, 39–45.

ANNEXES

Annexe I: Fiches stations Campagne 4.

Annexe II: Coordonnées GPS des stations.

Codes stations	Coordonnées			
	X_WGS_84	Y_WGS84	X_RGNC_91	Y_RGNC91
ADO1	166,197680	-21,601670	420467	288731
APA1	165,021333	-21,148233	298358	338626
APE1	165,044117	-21,194717	300756	333495
AWA1	166,213117	-21,919817	422018	253505
BAN1	166,891233	-22,333817	491813	207417
BNN1	166,893567	-22,332817	492054	207526
BNS1	166,892533	-22,334533	491947	207337
BOG1	165,700400	-21,539567	368967	295590
BOG2	165,647383	-21,607917	363493	288011
BOG3	165,518033	-21,579117	350091	291164
BOG9	165,573000	-21,588000	355749	290206
COC1	164,735083	-20,998867	268495	354948
DIA1	164,566917	-20,527133	250534	407022
DIA2	164,439367	-20,394950	237085	421529
DIA3	164,435617	-20,378333	236675	423364
DMN1	166,494000	-22,128000	450963	230388
DMS1	166,512000	-22,134000	452830	229721
DOU1	165,491667	-21,450433	347314	305402
DOU2	165,475950	-21,549733	345722	294403
DOU3	165,495433	-21,564583	347745	292766
DOU9	165,474000	-21,518000	345508	297916
DUM0	166,483000	-22,131000	449827	230060
DUM1	166,448033	-22,156650	446212	227230
DUM9	166,465000	-22,149000	447961	228121
EGL1	165,014450	-21,150333	297644	338389
FON1	165,803383	-21,706433	379657	277132
FRI1	164,244750	-20,485750	216883	411261
HIE1	164,881650	-20,737533	283526	383996
KAA1	165,265950	-21,358750	323872	315459
KAA2	165,263550	-21,357917	323623	315550
KAA3	165,260567	-21,356350	323313	315722
KAO1	166,894567	-22,284017	492188	212929
KAO2	166,863033	-22,292083	488934	212054
KAR1	166,385117	-22,092717	439740	234327
KAR2	166,363517	-22,137550	437500	229368
KON0	164,985530	-21,028137	294553	351898
KON1	164,962467	-21,034283	292161	351202
KON2	164,851550	-21,064750	280657	347748
KON9	165,003000	-21,005000	296370	354503
LAF1	165,859450	-21,726050	385460	274967
LAF2	165,798683	-21,717617	379173	275893
MAM1	166,887067	-22,056500	491558	238126
MEN1	165,507883	-21,430783	348988	307583
MOI1	165,675850	-21,691617	366459	278751
NER1	165,502067	-21,572467	348435	291895
NER2	165,496167	-21,579917	347827	291068
NOM1	164,091000	-20,205000	200464	442155
OUA1	164,218200	-20,442900	214059	415973

Codes stations	Coordonnées			
	X_WGS_84	Y_WGS84	X_RGNC_91	Y_RGNC91
OUA2	164,221183	-20,440500	214367	416242
PER1	166,843000	-22,180700	486936	224399
POU1	165,018650	-21,112483	298054	342582
POU2	164,910983	-21,121050	286876	341560
POU3	164,861317	-21,142450	281735	339154
POU8	164,903000	-21,128000	286014	340816
POU9	164,949859	-21,104116	290902	343462
RIL1	166,869683	-22,253333	489643	216342
RIL2	166,847067	-22,181800	487355	224275
TAD1	164,453733	-20,404517	238595	420484
TAO1	164,807117	-20,559783	275613	403618
TCH1	165,285067	-21,041183	325694	350626
TCH2	165,348150	-21,032200	332247	351649
TEN0	165,554817	-21,511150	353878	298700
TEN1	165,554817	-21,511150	353878	298700
TIW0	165,104000	-20,908000	306791	365273
TIW1	165,104783	-20,908033	306872	365270
TIW2	165,176117	-20,887633	314281	367569
TIW3	165,219050	-20,898117	318754	366432
TLN1	164,759783	-20,971117	272473	356218
TLS1	164,759783	-20,971117	271039	358041
WAD1	166,993017	-22,277450	502338	213595
WAD2	167,005183	-22,289450	503584	212259
WAN1	165,707250	-21,311267	369629	320866
WAO1	166,219700	-21,943967	422694	250830
YAH1	166,501467	-22,195100	451710	222956
YAH2	166,487000	-22,221000	450209	220093