



OEIL

Observatoire de
l'environnement
Province Sud
Nouvelle-Calédonie

**CNRT
NICKEL**
& son environnement

**Programme d'étude et de recherche
2012 - 2015, phase 1**

**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**



Principaux contacts:		
Asconit Consultants	Julien Marquié	mailto:julien.marquie@asconit.com
	Florence Peres	mailto:florence.peres@asconit.com
IRSTEA	François Delmas	mailto:francois.delmas@irstea.fr
Biotop	Yannick Dominique	mailto:ydominique@biotop.nc
Observatoire de l'environnement CNRT Nickel & son environnement	Adrien Bertaud	mailto:adrien.beraud@oeil.nc
	Bernard Robineau	mailto:bernard.robineau@cnrt.nc

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 affecté qui est bouleversée. Ensuite, le sol ainsi dénudé est soumis à une érosion accélérée, les eaux de ruissellement charrient davantage de matériaux, modifiant la composition en éléments minéraux des cours d'eau en aval et entraînent des dépôts alluvionnaires en zone lenticule. La perte du sol et de ses capacités d'infiltration et de rétention empêchent la recharge de la nappe phréatique sous jacente, donc ses capacités de relargage en saison sèche alimentant les creeks à cette période. Ce dernier point est fondamental à la pérennité de populations micro-endémiques inféodées à la vie aquatique. Les terrains alternent alors entre périodes d'inondations et de sécheresses. Aujourd'hui, le confinement des déblais en «verses à stériles latéritiques», l'allègement des moyens de transport et de prospection, la revégétalisation et la prise en compte des débits hydriques tendent à renverser la tendance. Mais d'autres menaces pèsent sur l'érosion accélérée du sol par la disparition du couvert végétal, comme les feux de brousse intentionnels ou non, et le broutage par les cerfs (*Cervus timorensis rusa*) et les cochons sauvages (*Sus scrofa*), espèces envahissantes.

L'urbanisation croissante, illustrée par le développement de la zone VKP (Voh, Kone, Pouembout), menace à son tour l'intégrité des cours d'eau. Déjà fragilisés par la pollution diffuse des effluents domestiques des villages peu pourvus en réseau d'assainissement et les effluents agricoles utilisant engrais et pesticides, il est nécessaire de pouvoir estimer l'effet des perturbateurs sur la qualité des ressources en eau.

La gestion intégrée des milieux et ressources aquatiques a été identifiée depuis le début des années 2000 comme un axe fort des actions à mener en termes de conservation de la biodiversité du territoire calédonien. Cette dernière fait à ce titre partie des objectifs du plan d'action élaboré en 2004 par les collectivités locales (gouvernement,

Provinces) et nationale dans le cadre du plan d'action outre-mer de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité (SNB), programmation 2004-2010.

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, organes 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 diagnostiques 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 sur 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).

¹ Programme Régional Océanien de l'Environnement

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 prochaine 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, de 21 mois, comprend 3 autres campagnes de prélèvement et l'illustration et la description des taxons. La troisième phase, de 12 mois, est consacrée à l'analyse biomathématique des données afin d'établir des classes de qualité des espèces, ainsi qu'à la rédaction du rapport final. La quatrième phase, d'un mois, est dédiée à la présentation des livrables. Cela comprend un guide d'identification des taxons avec leur sensibilité spécifique et leur valeur indicatrice associée ainsi que leur profil de distribution. 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, sera désormais utilisable. 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 se prête effectivement à l'analyse de fonctionnement des cours d'eau et doit permettre (cf. expérience métropolitaine et réalisations réussies à la Réunion et aux Antilles) de mesurer leurs changements d'état sous l'effet de perturbations. En tant que producteurs primaires à la base de la chaîne alimentaire, les diatomées jouent un rôle fonctionnel crucial. Les formes benthiques échantillonnées, sessiles, sont tributaires de leur environnement et ne peuvent que s'adapter ou disparaître en cas de modifications de leur milieu. L'omniprésence, la diversité et la sensibilité de ces algues en font alors un outil d'évaluation pertinent de la qualité de l'eau des creeks, se

² Direction des Affaires Vétérinaires, Alimentaires et Rurales

jetant finalement dans le plus grand lagon du monde, inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO.

Sommaire

1. INTRODUCTION	1
1 MATERIELS ET METHODES DE PRELEVEMENT	4
1.1 Choix des stations de prélèvement	4
1.2 Nomenclature du code des stations.....	8
1.3 Protocole d'échantillonnage	12
1.4 Substrat artificiel <i>in situ</i>	14
1.4.1 Les cagettes	14
1.4.2 Choix des stations.....	15
1.4.3 Les paramètres mesurés.....	17
2 LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES MESURES.....	18
2.1 Mesures <i>in situ</i>	18
2.2 Mesures de laboratoire	20
2.2.1 Les descripteurs d'altération anthropique	22
2.2.2 Les descripteurs de la géo-hydrochimie naturelle	24
3 RESULTATS	25
3.1 Compte rendu de terrain	25
3.2 Résultats des mesures <i>in situ</i>	27
3.3 Résultats préliminaires des substrats artificiels	31
4 CONCLUSION	32
5 BIBLIOGRAPHIE	34
6 ANNEXES	36
Annexe 1: Tableau des stations de prélèvement et types de pollutions envisagées	37
Annexe 2: Tableau des relevés des mesures physico-chimiques <i>in situ</i>	38
Annexe 3: Tableau de résultats de conductivité du réseau DAVAR	39
Annexe 4: Fiches stations	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Diversité de formes et de tailles entre différents genres de diatomées, a) <i>Navicula</i> , b) <i>Epithemia</i> , c) <i>Gomphonema</i> , d) <i>Cocconeis</i> , e) <i>Brachysira</i>	2
Figure 2: Carte du réseau des stations, région Nord.....	6
Figure 3: Carte du réseau des stations, région Sud.....	7
Figure 4: Paysage minier sur la route Kouaoua-Canala (HER G).	8
Figure 5: Récupération du biofilm.....	13
Figure 6: Cagettes et lames de verre fixées.	15
Figure 7: Fixation des cagettes sur la Baie Nord, 1er essai, station BAN11, a) à J+0, b) à J+17.....	15
Figure 8: Station 6T (code Vale-NC), à l'aval de BAN11, a) vue amont vers aval, b) vue aval vers amont.	16
Figure 9: Station sur la rivière des Kaoris, vue d'ensemble.....	16
Figure 10: Protocole simplifié de la détection de l'impact des métaux sur le biofilm.	17
Figure 11: Température (°C) et pourcentage de saturation en O ₂ dissous des différentes stations échantillonnées.	28
Figure 12: Valeurs de pH des eaux des différentes stations échantillonnées.....	29
Figure 13: Conductivité (µS/cm) des eaux des différentes stations échantillonnées.	30
Figure 14: Colonisation des lames à J+17, a) station BNN11, b) station BNS11, c) station BAN11, d) station KAO21.....	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Position GPS, correspondance des stations avec celles des réseaux de suivi.....	10
Tableau II: Analyses de laboratoire préconisées pour la construction de l'indice diatomique.	20
Tableau III: Stations de prélèvement d'eau.....	22

1. Introduction

Ce programme de recherche et développement a pour objectif la conception d'un outil de bioindication de la qualité de l'eau à partir des diatomées benthiques, adapté aux creeks de Nouvelle Calédonie. Il fait l'objet d'une thèse soutenue par l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (thèse CIFRE³) : "**Conception d'un atlas taxinomique et d'un indice de bioévaluation de la qualité écologique des cours d'eau de Nouvelle - Calédonie à partir des diatomées benthiques**". Ces travaux apporteront, d'une part, une meilleure connaissance de ce maillon biologique encore aujourd'hui très peu étudié et d'autre part, les éléments nécessaires aux gestionnaires pour évaluer la qualité de l'eau des milieux concernés, mieux appréhender les impacts qu'ils subissent et, *in fine*, mieux les protéger. Après quelques travaux exploratoires réalisés sur place (Manguin, 1962 ; Maillard, 1978 ; Le Cohu, 1985), les dernières études réalisées sur les diatomées des rivières de Nouvelle-Calédonie sont relativement anciennes (Moser et *al.*, 1995, 1998, Moser, 1999) et montrent la richesse de ce territoire en espèces endémiques qui seraient plus spécifiquement concentrées sur les substrats ultramafiques du sud (Moser, 1999).

Les diatomées ou Bacillariophyta sont des microorganismes eucaryotes unicellulaires (même si certaines forment des colonies), photosynthétiques pour la grande majorité, appartenant aux Chromophytes (algues brunes). Leur caractéristique principale est leur paroi extracellulaire de silice hydratée, appelée frustule, formant une cage de verre. Il est constitué de 2 valves emboîtées telles une "boîte à camembert", de formes et d'ornementations variées (figure 1). Leur description spécifique est basée sur ces caractéristiques morphologiques. Elles 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, 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.

³ Conventions Industrielles de Formation par la REcherche

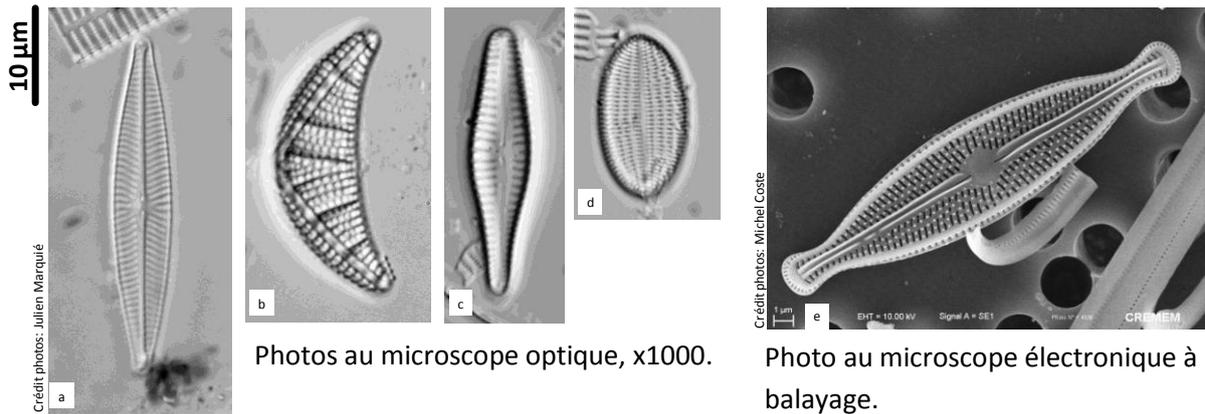


Figure 1: Diversité de formes et de tailles entre différents genres de diatomées, a) *Navicula*, b) *Epithemia*, c) *Gomphonema*, d) *Cocconeis*, e) *Brachysira*.

La conception de l'indice de bio-évaluation est réalisée par croisement des jeux de données abiotiques du cours d'eau (T° , pH, conductivité, concentrations en nutriments et en éléments traces métalliques...) avec la composition floristique associée. Les traitements statistiques visent à déterminer la contribution des variables dans la distribution des espèces, le profil écologique des différents taxons et la formule mathématique qui servira de base au calcul de l'indice.

La pertinence des jeux de données est primordiale et passe par un plan d'échantillonnage réfléchi et large afin d'obtenir une assise statistique suffisante pour asseoir les bases des traitements mathématiques ultérieurs. Les données doivent être représentatives des conditions rencontrées sur l'ensemble du territoire, tenant compte de la variabilité naturelle des assemblages, de la saisonnalité marquée, alternant entre une saison sèche et une saison des pluies ainsi que des différents gradients et types d'anthropisation. La stratégie d'échantillonnage a tenu compte de tous ces facteurs et se traduit par un programme prévisionnel basé sur un vaste plan d'échantillonnage. Ainsi, 4 campagnes sont prévues sur 2 ans, 2 en saison sèche et 2 en saison humide.

Ce rapport de terrain s'inscrit dans le cadre de la phase 1 du programme de recherche⁴ et a pour objectifs principaux de définir le plan d'échantillonnage et de faire état du déroulement de la première campagne de prélèvements qui s'est déroulée en saison sèche du 20 octobre au 19 décembre 2012. Cette première campagne a permis d'échantillonner 64 stations sur l'ensemble de la Grande Terre. Quatre stations envisagées, 3 sur la Kué et 1 sur la Kué Nord, sur la Plaine du Grand Sud, restent à échantillonner.

Le protocole d'une expérience exploratoire de détection de l'effet (ou de l'impact) d'éléments traces métalliques mis en place lors de cette campagne sur la rivière

⁴ Convention de recherche OEIL-ASCONIT-IRSTEA du 10/10/2012 – Phase 1 (étude de faisabilité).

des Kaoris et la Baie Nord dans la zone ouest de la Plaine du Grand Sud est également décrit.

1 Matériels et méthodes de prélèvement

1.1 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 découpée en 6 HER notées de B à G (l'HER A correspond aux îles Loyauté). 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), nous savons qu'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 indicial 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 (Dumbea, La Foa, Néra, Koné, Pouembout) mis en place par la DAVAR, afin de bénéficier du suivi des paramètres physico-chimiques préexistants. Ces 5 bassins versant ont « leurs pieds » qui appartiennent à l'HER

B, situé sur la côte ouest, la plus densément peuplée. Les têtes des 4 derniers bassins versant susmentionnés appartiennent à l'HER G reposant principalement sur les unités métamorphiques de la chaîne centrale, alors que le bassin de la Dumbéa s'écoulant 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.

Lors de la réunion de démarrage, le choix des stations proposées a été discuté avec les maîtres d'ouvrage. Ainsi 3 stations ont été ajoutées sur la Rivière Coco et ses affluents: Taléa branches Nord et Sud, situés sur le massif de Koniambo entre Koné et Voh. Deux stations de référence initialement prévues sur la Kuébini ont été déplacées sur la Wadjana, situées sur le Plateau du grand Sud sur la côte Est car la Kuébini est susceptible d'être affectée par des travaux d'aménagement ultérieurs sur le site minier, charriant des apports terrigènes d'origine anthropiques.

Finalement, 64 stations ont été prospectées: 23 stations sont considérées comme des références, 19 stations sont considérées sous l'influence d'un impact anthropique d'origine domestique et/ou agricole, 18 stations sous l'impact de la mine et 4 stations sont sous l'influence haline des marées (annexe 1).

Les figures 2 et 3 illustrent la répartition.

Le tableau en annexe 2 répertorie les stations avec leurs coordonnées GPS et leur correspondance avec les stations de suivi préexistantes.

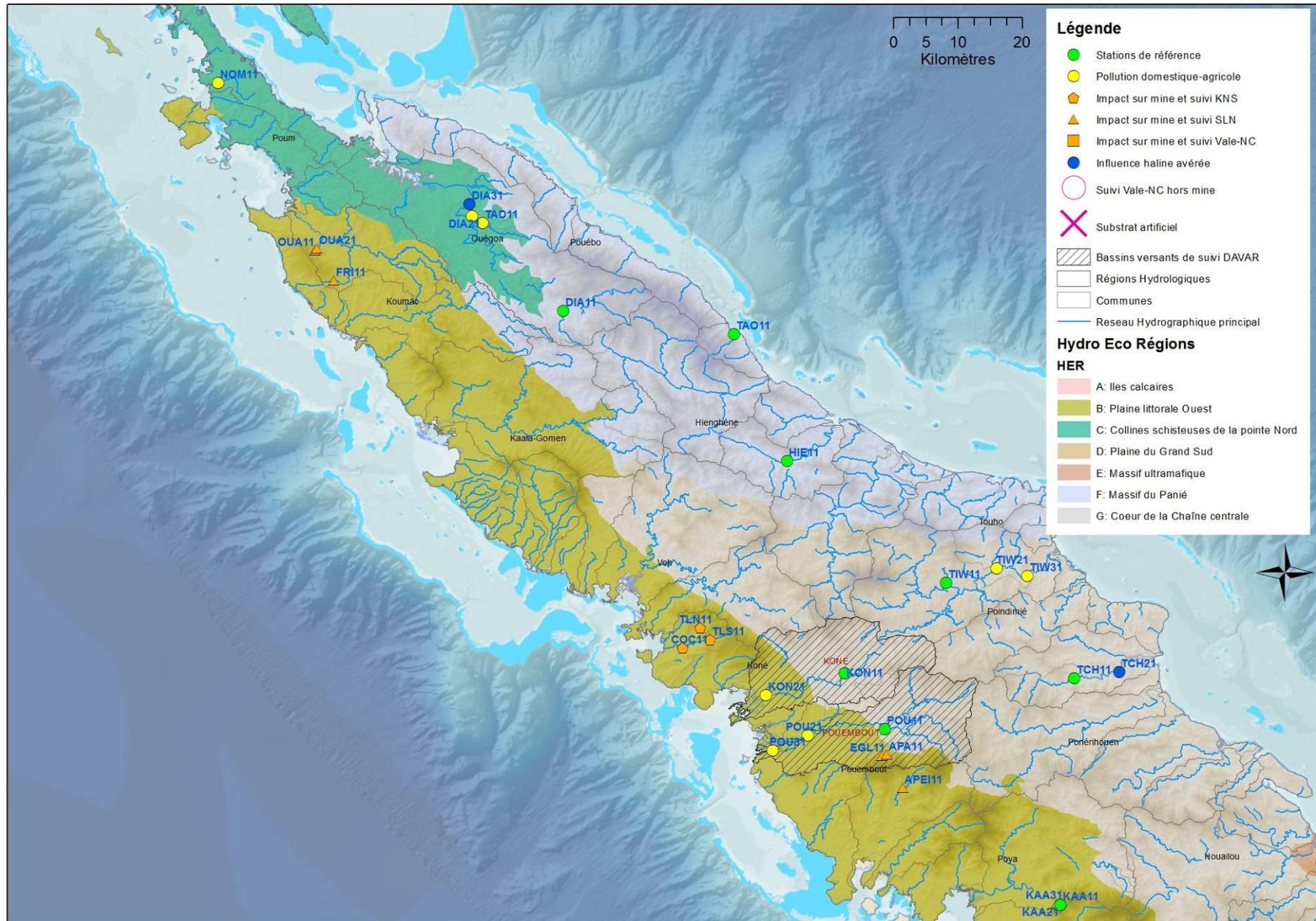


Figure 2: Carte du réseau des stations, région Nord.

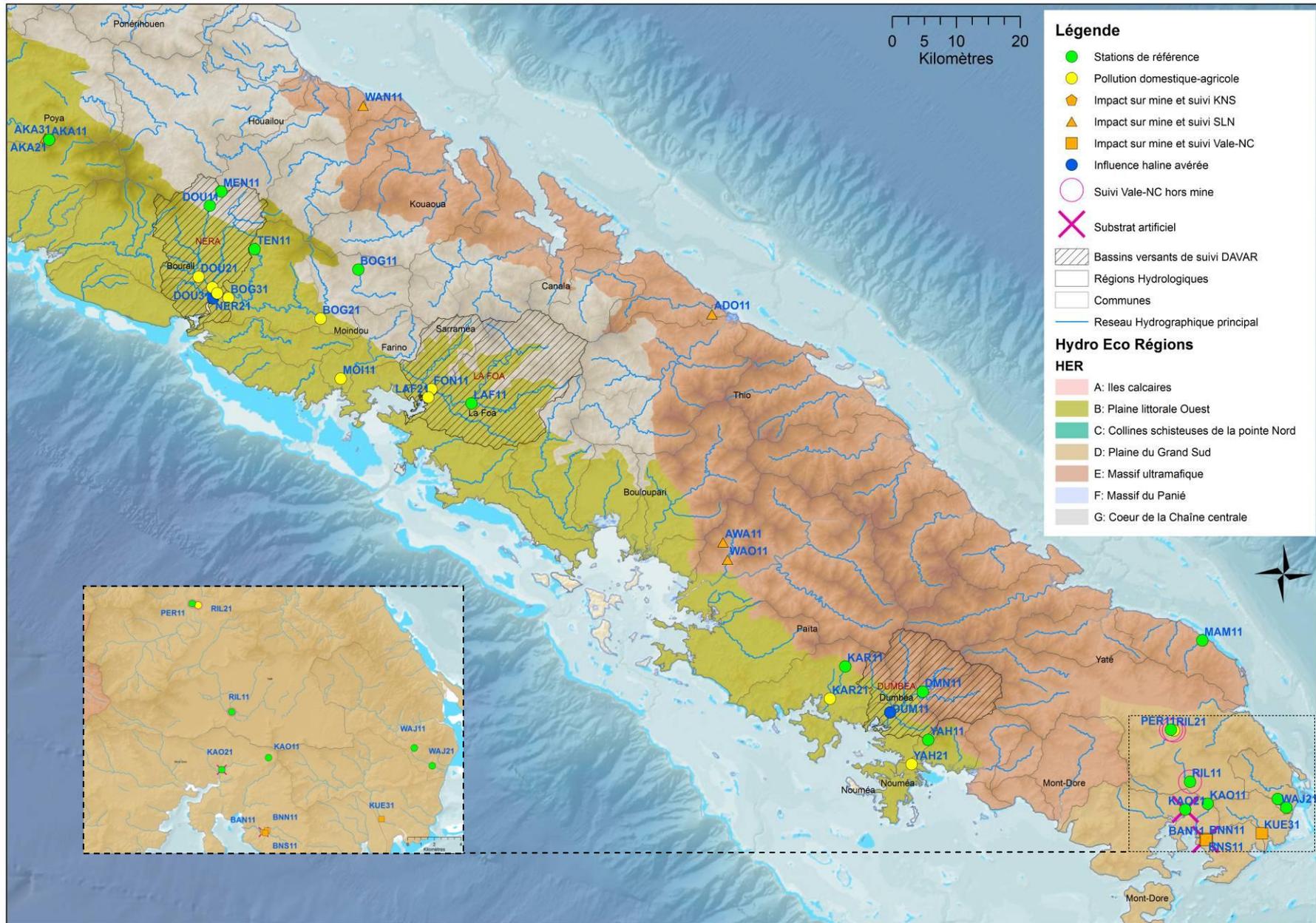


Figure 3: Carte du réseau des stations, région Sud.

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. La figure 4 ci-dessous illustre une situation rencontrée en Nouvelle-Calédonie, où l'origine du décapage est évidemment anthropique et fait consensus.



Figure 4: Paysage minier sur la route Kouaoua-Canala (HER G).

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.

On compte 4 stations sous influence haline de manière avérée d'après leur conductivité très élevée ($>1000 \mu\text{S}/\text{cm}$), NER21, TCH21, DUM11 relevées lors de cette campagne et DIA31 d'après des résultats de la DAVAR enregistrant des conductivités bien supérieures à $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ (cf. annexe 3). Pour 4 autres, YAH21, NER11, DIA21, et TIW31 un doute subsiste malgré une conductivité relativement basse au moment de la première visite, respectivement, de 450, 330, 70,5 et $107,7 \mu\text{S}/\text{cm}$, en période de flux (marée montante) pour YAH21 et TIW31. Ces incertitudes reposent sur des indices d'influence marine comme la présence de la mangrove à proximité, de terriers de petits crabes (identifiés comme *Varuna litterata*, décrits comme diadromes, Marquet et *al.*, 2003), ou des effets de marnage visibles. D'où l'importance des fiches terrain où sont notées ces observations. Les résultats des concentrations en chlorure et en sodium ainsi que les flores présentes permettront de lever le doute.

1.2 Nomenclature du code des stations

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

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

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

Exemple:

KAO	1	1
-----	---	---

KAO: Rivière des Kaoris

1: Station amont

1: Campagne 1

Le nom du cours d'eau en 3 lettres reprend 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, 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,
- la station BOG11, située sur le cours d'eau O Donarao, en amont de la Boghen et calée sur la station BOGH050 du réseau de suivi de la DAVAR, est alors considérée comme appartenant à la Boghen.

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. Le second chiffre est celui du numéro de campagne.

Le tableau I rappelle la correspondance entre les codes utilisés et la station à laquelle ils font référence.

Tableau I: Position GPS, correspondance des stations avec celles des réseaux de suivi.

HER	COMMUNE	COURS D'EAU	CODE STATION	Coordonnées (WGS84)		LOCALISATION / STATION ASSOCIEE (code DAVAR)	RESEAU DE SUIVI ACTUEL (BV = Bassin Versant)	PRELEVEMENT			
				X (longitude)	Y (latitude)			DATE	HEURE		
D: Plaine du Grand Sud Plateau du sud < 500m Très arrosé Nappe de péridotite	Yaté	WADJANA	WAD11	165,70725	-21,311267	amont WAJA100R	Vale-NC	13/12/2012	15h20		
			WAD21	166,2197	-21,943967	aval WAJA200		13/12/2012	14h30		
		KUE	KUE11					3-A (code Valé)			
			KUE21					3-B (code Valé)			
			KUE31	166,97095	-22,325133			1-E (code Valé)	13/12/2012	9h00	
		KUE NORD	KUN11					KA (code Valé)			
		BAIE NORD	BAN11	166,891233	-22,333817			6T (code Valé)	26/10/2012	11h00	
	BAIE NORD bras nord	BNN11	166,893567	-22,332817		6-BNOR1 (code Valé)		26/10/2012	12h15		
	Mont-Dore	BAIE NORD bras sud	BNS11	166,892533	-22,334533			6-AFF (code Valé)	26/10/2012	13h	
			KAORIS	KAO11	166,894567	-22,284017			-	30/11/2012	17h20
			KAO21	166,863033	-22,292083			aval KAOR100R	13/11/2012	16h30	
		RIVIERE DES LACS	RIL11	166,869683	-22,253333			1 (code Valé)	09/11/2012	08H00	
			RIL21	166,847067	-22,1818			3 (code Valé)	09/11/2012	13H10	
		CREEK PERNOD	PER11	166,843	-22,1807			5 (code Valé)	26/10/2012	17h30	
		B: Plaine littorale Ouest Pénéplaine littorale Collinaire < 250m Peu arrosé Géologie hétérogène	Nouméa	YAHOUÉ	YAH11	166,501467		-22,1951	amont YAHOUÉC1	-	07/11/2012
	YAH21				166,487	-22,221		YAHO300	-	07/11/2012	13H10
	Dumbea		DUMBEA	DUM11	166,448033	-22,15665		DUMB700	DAVAR BV de la Dumbea	24/10/2012	18h
Païta				KARIKOUÏE	KAR11	166,385117	-22,092717	amont KARIK100	-	22/10/2012	17h20
	KAR21		166,363517		-22,13755	amont KARIK400	-	22/10/2012	18h15		
La Foa	LA FOA		LAF11	165,85945	-21,72605	LAFOA325	DAVAR BV de La Foa	22/10/2012	15h00		
			LAF21	165,798683	-21,717617	LAFO600		22/10/2012	14h00		
Moindou	FONWHARY		FON11	165,803383	-21,706433	aval FONW100	22/10/2012	12h15			
			MOINDOU	MOI11	165,67585	-21,691617	aval MDOU550	21/10/2012	16h45		
Bourail	BOGHEN		BOG21	165,647383	-21,607917	aval BOGH325	DAVAR BV de la Néra	24/10/2012	10h30		
			BOG31	165,518033	-21,579117	BOGH600		24/10/2012	11h45		
			TENE	TEN11	165,554817	-21,51115		aval TENE050	23/10/2012	14h40	
	NERA		NER11	165,502067	-21,572467	amont NERA100	DAVAR BV de la Néra	24/10/2012	6h10		
			NER21	165,496167	-21,579917	aval NERA100		23/10/2012	17h		
	DOUENCHEUR		DOU21	165,47595	-21,549733	DOUE300	23/10/2012	18h00			
			DOU31	165,495433	-21,564583	aval DOUE400	23/10/2012	17h30			
Poya	MWE KARA AWI		CAA11	165,26595	-21,35875	DOLREF (code SLN)	SLN	29/10/2012	11h20		
			CAA21	165,26355	-21,357917	DOL1 (code SLN)		29/10/2012	12h40		
			CAA31	165,260567	-21,35635	DOL2 (code SLN)		29/10/2012	13h10		
Pouembout	Affluent PEOUE		APE11	165,044117	-21,194717	K10-501 (code SLN)	DAVAR BV de la Néra	27/11/2012	15h20		
			APA11	165,021333	-21,148233	PAP100 (code SLN)		26/11/2012	12h00		
	affluent PAPAÏNDA		EGL11	165,01445	-21,150333	EGL100 (code SLN)		26/11/2012	14h50		
			POUEBOUT	POU21	164,910983	-21,12105		aval POUE600	20/10/2012	12h10	
POU31	164,861317		-21,14245	POUE800	20/10/2012	10h30					
Kone	KONE		KON21	164,85155	-21,06475	KONE950	DAVAR BV de la Kone	20/10/2012	14h30		
			TALEA branche sud	TLS11	167,005183	-22,28945	SW014 (code KNS)	KNS	19/12/2012	9h20	
	TALEA branche nord		TLN11	166,993017	-22,27745	SW012 (code KNS)	19/12/2012		7h30		
	COCO (=TALEA)		COC11	164,759783	-20,971117	SW016 (code KNS)	19/12/2012	10h20			
Koumac	FRIDOLINE		FRI11	164,24475	-20,48575	aval FRIDOLINE CENTRE (code SLN)	SLN	15/11/2012	15h10		
		OUA11	164,2182	-20,4429	OUBA01 (code SLN)	21/11/2012		9h50			
	OUAMBAYE	OUA21	164,221183	-20,4405	Ouambaye (code SLN)	21/11/2012		11h50			

HER	COMMUNE	COURS D'EAU	CODE STATION	Coordonnées (WGS84)		LOCALISATION / STATION ASSOCIEE (code DAVAR)	RESEAU DE SUIVI ACTUEL (BV = Bassin Versant)	PRELEVEMENT	
				X (longitude)	Y (latitude)			DATE	HEURE
<u>C: Collines schisteuses de la pointe Nord</u> Pénéplaine littorale Collinaire < 250m Peu arrosé Schistes	Poum	NOMAC	NOM11	164,0825	-20,20875	NomacF1	-	27/10/2012	16h00
	Ouegoa	DIAHOT	DIA21	164,439367	-20,39495	amont DIA400	-	28/10/2012	10h30
			DIA31	164,435617	-20,378333	amont DIAH500	-	28/10/2012	8h45
		TADE	TAD11	164,453733	-20,404517	TADE100	-	28/10/2012	15h00
<u>E: Massif du Panié</u> Chaîne centrale Montagneux > 500m Très arrosé Schistes	Ouegoa	DIAHOT	DIA11	164,566917	-20,527133	aval DIA025	-	28/10/2012	12h45
	Hienghene	TAO	TAO11	164,773433	-20,987683	aval TAO050	-	17/11/2012	13h00
		HIENGHENE	HIE11	164,88165	-20,737533	aval HIEN200	-	17/11/2012	17h30
<u>G: Cœur de la chaîne centrale</u> Chaîne centrale Montagneux > 500m Très arrosé Unité Anté Sénonienne (socle de la chaîne centrale)	Bourail	BOGHEN	BOG11	165,7004	-21,539567	amont BOGH050	DAVAR BV de la Néra	24/10/2012	8h45
		WA MENAO	MEN11	165,507883	-21,430783	BoueregaouC1		23/10/2012	12h15
		DOUENCHEUR	DOU11	165,491667	-21,450433	amont DOUE050		23/10/2012	10h45
	Kone	POUEMBOU	POU11	165,01865	-21,112483	POUE100	DAVAR BV de la Pouembout	20/10/2012	12h45
		KONE	KON11	164,962467	-21,034283	KONE400	DAVAR BV de la Kone	21/10/2012	14h15
	Poindimié	TIWAKA	TIW11	165,104783	-20,908033	aval TIWA200	-	21/10/2012	13h15
			TIW21	165,176117	-20,887633	amont TIWA350	-	21/10/2012	11h15
			TIW31	165,21905	-20,898117	entre TIWA425 et TIWA450	-	21/10/2012	12h15
		TCHAMBA	TCH11	165,285067	-21,041183	TCHA150	-	21/10/2012	7h45
			TCH21	165,34815	-21,0322	amont TCHA400	-	21/10/2012	9h30
<u>E: Massif ultramaphique</u> Chaîne centrale Montagneux > 500m Très arrosé Massif ultramafique	Dumbea	DUMBEA branche nord	DMN11	166,494	-22,128	aval DUMB050	DAVAR BV de la Dumbea	24/10/2012	17h
	Pororo	WANEBWAYO	WAN11	166,197683	-21,601667	WANEBWAYO (code SLN)	SLN	07/12/2012	11h00
	Thio	Affluent DOTHIO	ADO11	166,19768	-21,601667	WELLINGTON (code SLN)		07/12/2012	15h00
	Bouloupari	Affluent WANO	AWA11	166,213117	-21,919817	OPOUE nord (code SLN)		10/12/2012	11h00
		WANO	WAO11	166,2197	-21,943967	WANO aval (code SLN)		10/12/2012	15h00
	Yate	MAMIE	MAM11	166,887067	-22,0565	aval MAMIE200	-	13/12/2012	12h00

1.3 Protocole d'échantillonnage

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 sources 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 (Annexe 4).

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 de 100 cm² au moins correspondant à au moins 5 pierres est échantillonnée.
- 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).

Le prélèvement de l'épilithon⁵, plutôt que d'autres microhabitats de diatomées fixées (l'épipsammon⁶ ou l'épiphyton⁷) est discuté (Passy et *al.*, 1999). Cependant, le substrat dur se prête bien à l'échantillonnage en routine de façon standardisée, il est facilement disponible et pérenne.

La surface échantillonnée est plus grande que celle préconisée dans la norme en raison de la relativement faible abondance du biofilm par rapport à la métropole et du fait que l'échantillon est partagé pour envoi en métropole.

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, compilé en annexe 4, témoin de l'échantillonnage. Elle permet de situer dans l'espace et dans le temps le

⁵ les espèces vivant sur substrat dur et inerte

⁶ les espèces vivant à la surface des grains de sable

⁷ les espèces vivant sur les végétaux aquatiques

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. L'altitude n'a pas été renseignée cette fois, car un doute subsiste sur la fiabilité du GPS pour cette donnée. L'acquisition d'un nouveau GPS fin février permettra un réétalonnage robuste. Néanmoins, elle peut être retrouvée d'après les isolignes sur les cartes IGN. Cette donnée pourra être utile pour révéler un éventuel gradient altitudinal de répartition floristique et des données abiotiques.

Les stations nécessitant un échantillonnage hors normes sont les suivantes:

- POU31, DIA31 et MOI11; prélèvements réalisés sur macrophytes,
- MEN11, TEN11, DOU11, KAO11; stations prélevées en zone ombragée,
- FON11, NOM11; prélèvements en condition de tarissement du cours d'eau,
- PER11, TAO11, MAM11, WAD11, WAD21; prélèvements en condition de moyennes eaux, après des précipitations,
- NOM11; prélèvement sur plusieurs types de supports.

L'interprétation des données prendra compte ces dérives par rapport à la norme.

Le prélèvement en lui-même 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 figure 5, 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. 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 5: Récupération du biofilm

1.4 Substrat artificiel *in situ*

La méthode d'extraction des minerais nickélifère en carrière implique le décapage des horizons superficiels afin d'atteindre les couches plus profondes, enrichies en nickel. Les eaux de ruissellement se chargent alors en éléments métalliques toxiques tels que le nickel, le cobalt et le chrome qui aboutissent dans les cours d'eau. Les mesures de concentrations de ces éléments par prélèvements d'eau, ponctuels, n'intègrent pas l'évolution en continu de ces teneurs, ni leurs interactions avec les autres paramètres physico-chimiques. C'est dans cette perspective d'étude des effets conjugués des Eléments Traces Métalliques par l'analyse de la réponse de la population diatomique que la pose de substrats artificiels a été réalisée. Les diatomées offrent un bon modèle d'appréhension de ces effets:

- abondance, ubiquité, sédentarité, adhérence au substrat (périphyton),
- possibilité d'études quantitatives et qualitative sur le modèle,
- capacité d'accumulation des métaux au sein du biofilm et des cellules elles-mêmes et possibilité de doser ces concentrations,
- caractère intégrateur à plusieurs échelles de temps selon la pérennité des espèces au sein de la communauté.

La distribution et le développement des communautés diatomiques périphytiques sont influencés par de nombreux facteurs environnementaux, ce qui rend difficile l'étude et l'interprétation du rôle de chacun (Lawrence et *al.*, 2004). Cependant, l'utilisation de substrats artificiels permet de s'affranchir de la variabilité de certains paramètres en les uniformisant. De fait, la nature du substrat est la même, l'accès à la lumière et la vitesse du courant peuvent être comparables en déposant les supports dans des zones similaires. De plus, des examens complémentaires à l'étude spécifique des communautés, comme l'abondance des organismes phototrophes par rapport à la biomasse totale et l'accumulation des métaux au sein du biofilm, renforcent la pertinence de l'utilisation des diatomées comme bioindicateur (Gold et *al.*, 2003, Duong et *al.*, 2010).

Au cours de cette expérience, les substrats artificiels ont été arrachés au cours de la dépression tropicale Freda. Une autre série de substrats a été mise en place peu après l'évènement, il est en cours de colonisation, le protocole est détaillé ci-après et le protocole de mise en place des cagettes et des mesures effectuées s'inspire de l'article de Duong et *al.*, 2010.

1.4.1 Les cagettes

L'utilisation de substrat artificiel sur plaque de verre pour la récolte des diatomées est une technique éprouvée (Lane et *al.*, 2003). Le montage effectué est illustré ci-dessous:



Figure 6: Cagettes et lames de verre fixées.



Figure 7: Fixation des cagettes sur la Baie Nord, 1er essai, station BAN11, a) à J+0, b) à J+17.

Les cagettes sont fixées à l'aide d'un fer à béton et d'une corde en polypropylène. Elles sont orientées de manière à ce que les lames sur la tranche, soient présentées parallèlement au courant afin d'éviter au maximum de la sédimentation sur le substrat.

1.4.2 Choix des stations

Les critères de choix des stations ont été les suivants:

- accès au site relativement facile afin de pouvoir poser le matériel et suivre l'expérience à raison d'une visite toutes les 2 semaines,
- stations donnant lieu à un suivi des paramètres physico-chimiques (dans ce cas la nature et la fréquence des paramètres suivis sont à préciser avec Vale-NC),
- comparaison possible entre une station impactée par les rejets miniers et une station de référence non impactée:
 - homogénéité des déterminants primaires, climat, relief, géologie de la zone d'étude,
 - homogénéité au niveau des caractéristiques physiques de la station: vitesse du courant, ombrage, profondeur.

Ainsi, le cours d'eau impacté choisi est la Baie Nord et la rivière des Kaoris comme référence, bien qu'elle ne fasse pas partie d'un réseau de suivi en

routine. Cette dernière fait partie du plan d'échantillonnage de la 1^{ère} campagne de terrain et représente la référence de l'HER D en contexte minier sur latérite, côte ouest pour cette étude.

Au premier essai, les 3 stations d'étude sur la Baie nord ont été, BAN11, BNN21 et BNS31. Le deuxième essai (après passage de la dépression Freda) compte une seule station sur la Baie nord, un peu plus en aval de BAN11, elle correspond à la station 6T (code Vale-NC).

Les stations sont illustrées ci-dessous:

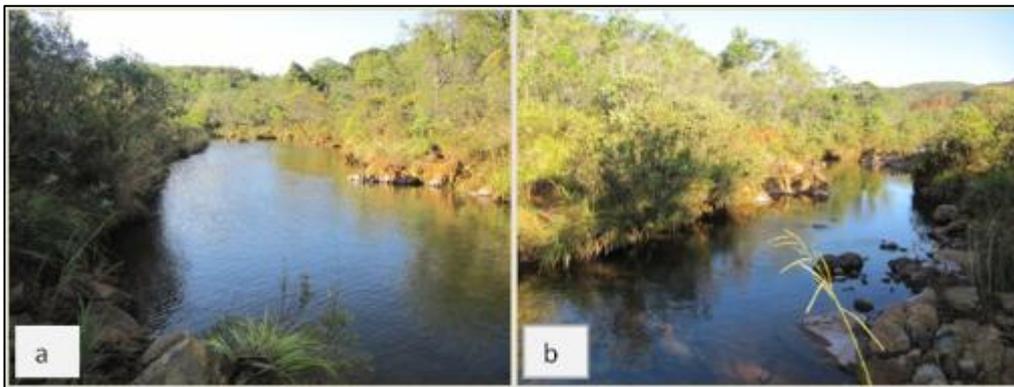


Figure 8: Station 6T (code Vale-NC), à l'aval de BAN11, a) vue amont vers aval, b) vue aval vers amont.



Figure 9: Station sur la rivière des Kaoris, vue d'ensemble.

1.4.3 Les paramètres mesurés

L'objectif est de déterminer si il existe un impact du cours d'eau *a priori* pollué par les métaux sur la structure du biofilm des diatomées comme cela a déjà pu être démontré dans d'autres études (Gold et *al.*, 2003, Morin et *al.* 2007, Duong et *al.*, 2010,). Par biofilm on entend ici la fraction cellulaire et la matrice organique excrétée par l'ensemble du périphyton. Il est composé de bactéries, de champignons et d'algues telles que les diatomées, les chlorophycées et les cyanophycées. La matrice se compose des excréments de chacun, dont le mucilage excrété par les diatomées.

La figure 10 résume le protocole de cette expérience.

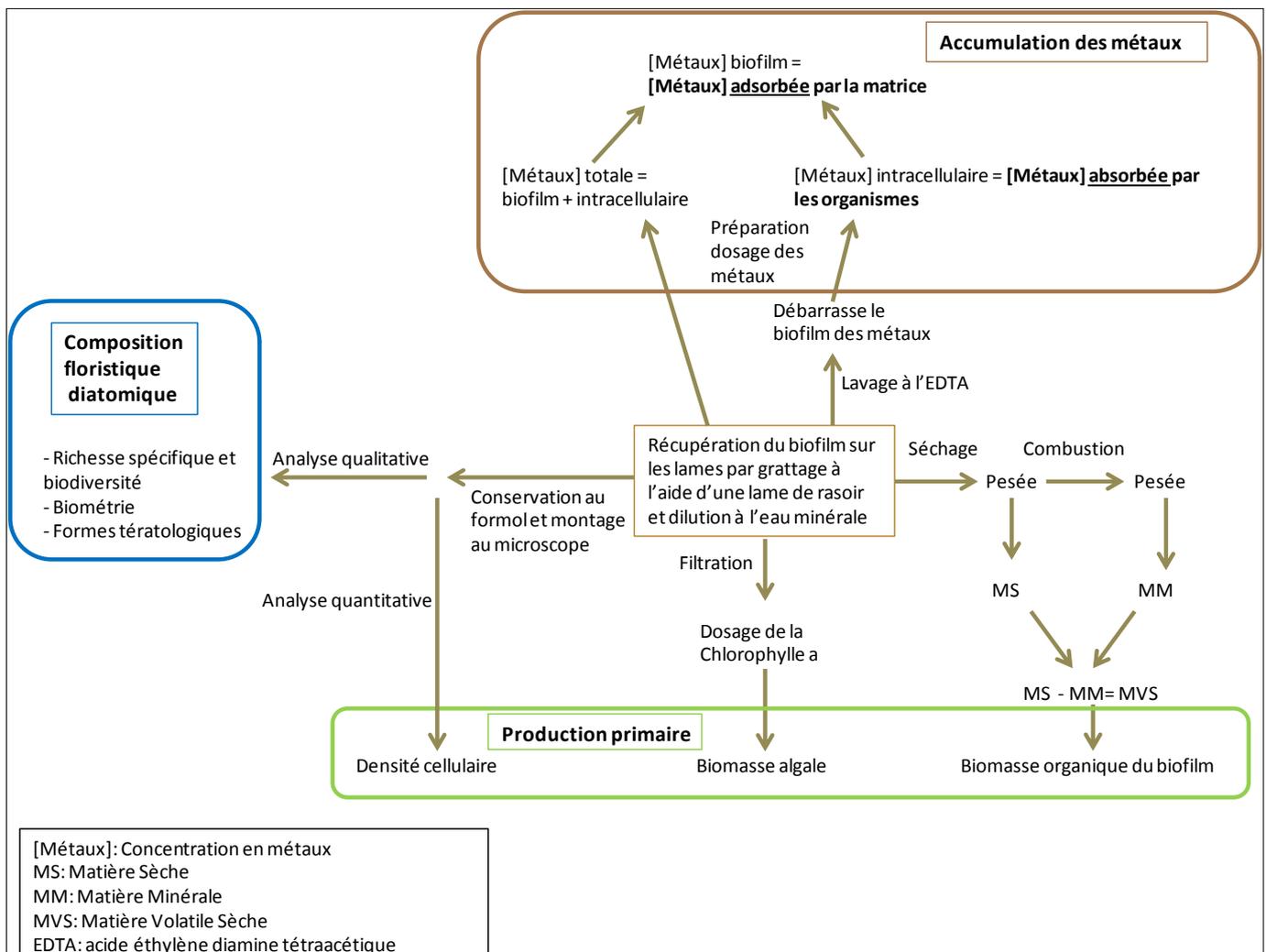


Figure 10: Protocole simplifié de la détection de l'impact des métaux sur le biofilm.

Les paramètres mesurés sur la composition floristique sont ceux habituellement décrits lors de la recherche d'altération par les pollutions métalliques (Morin et *al.*, 2007); biomasse, densité cellulaire, formes anormales (tératologiques), taille générale des espèces. Le dosage des concentrations en métaux au sein du biofilm estime l'accumulation de ces toxiques à l'échelle matricielle et cellulaire.

La matrice semble avoir un rôle protecteur de détoxification en accumulant les toxiques sans les rendre biodisponibles (Duong et *al.*, 2010).

2 Les paramètres physico-chimiques mesurés

Sur les stations de relevés diatomiques, les paramètres *in situ* systématiquement analysés sont la température, la concentration en O₂ dissous (en mg/l), le pourcentage de saturation en O₂ dissous, le pH et la conductivité.

Les analyses de laboratoire comptent une vingtaine de paramètres physico-chimiques suivis classiquement pour ce type d'études. L'ensemble de ces paramètres est répertorié dans le tableau II.

Les paramètres mesurés peuvent être des descripteurs plus ou moins spécifiques d'un phénomène d'altération anthropique et/ou influencer directement la flore diatomique.

2.1 Mesures *in situ*

Les relevés des paramètres *in situ* ont été effectués systématiquement sur la station lors de l'échantillonnage des diatomées. Les mesures ont été effectuées dans la majorité des cas à l'aide d'un pH-mètre, d'un oxymètre optique et d'un conductimètre (chaque appareil est du modèle WTW 3210). Chaque sonde donne la température, elle est relevée à chaque fois sur l'oxymètre car la donnée de % de saturation en O₂ utilise cette donnée. Sur certaines stations où des prélèvements invertébrés ont été effectués au même moment par un second opérateur, la sonde multi-paramètres Hydrolab Quanta a été utilisée. Elle mesure la turbidité, paramètre utile aux analyses IBNC (Indice Biologique Nouvelle-Calédonie) et IBS (Indice Biologique Sédimentaire), par praticité, le terrain pouvant être accidenté, les 3 sondes WTW n'ont alors pas été embarquées en supplément. Les données fournies par les 2 types de sondes ont été régulièrement contrôlées et étalonnées. La sonde Quanta possédant un oxymètre à membrane, son étalonnage a été effectué entre les différentes stations pour prendre en compte la pression atmosphérique dans la mesure. Cette disposition n'est pas nécessaire avec la sonde optique.

Les caractéristiques de ces paramètres sont les suivantes:

- **Température (°C)**: elle a de nombreux rôles indirects en influençant la solubilité des gaz comme le dioxygène (O₂), les valeurs de pH, la conductivité... Son influence directe sur la répartition des communautés diatomiques est difficile à apprécier.

- **Teneur en O₂ dissous (mg/l)**: en eau douce, cette variable dépend de nombreux facteurs tels que la température, la pression atmosphérique, la salinité... Par exemple, pour une même valeur absolue de la concentration en O₂ dissous, le pourcentage de saturation diminue avec la température. Elle est mesurée à titre indicatif, le pourcentage de saturation en O₂ qui relativise la teneur mesurée à la concentration de saturation en O₂ (concentration standard) lui est préféré, meilleur indicateur des phénomènes biochimiques.

- **Saturation en O₂ (% d'O₂)**: c'est un indicateur des conditions oxydantes (consommation d'O₂) ou réductrices (production d'O₂) du milieu aquatique. Elle révèle ainsi 2 processus majeurs: biologique par la balance photosynthèse/dégradation de la matière organique, c'est-à-dire, la production d'O₂ par les algues par rapport à la consommation d'O₂ par les bactéries aérobies, et chimique par la concentration en composés oxydables. C'est donc à la fois un indicateur de pollution organique et minérale. Les diatomées sont sensibles à la saturation en O₂, réparties en 6 classes de qualité elles sont plus ou moins oxybiontes⁸ (Van Dam et *al.*, 1994).

- **pH (Unités pH)**: il caractérise la concentration en ions hydrogènes dans l'eau. Il est représentatif de la géochimie-hydrochimie naturelle. Une altération du milieu peut le faire varier dans un sens ou l'autre, sens de variation dit non univoque. Il est influencé par la teneur en CO₂ dissous, il peut alors varier suivant l'intensité de l'activité chlorophyllienne. Ce paramètre n'est généralement pas pertinent pour mesurer un impact anthropique modéré. Cependant, il influence directement la composition de la flore diatomique pour laquelle 6 à 7 classes de qualité sont distinguées (Van Dam et *al.*, 1994). De plus, le pH influence la solubilité des espèces chimiques comme la disponibilité du carbone organique, la concentration des espèces ioniques, la spéciation des éléments comme le chrome (Cr³⁺/Cr⁶⁺), le fer (Fe²⁺/Fe³⁺) et la spéciation de l'azote en solution, c'est-à-dire la concentration en ammoniac via l'équilibre du couple ammonium/ammoniac (NH₄⁺/NH₃⁺) et du couple nitrate/nitrite.

- **Conductivité (µS/cm)**: elle est proportionnelle à la quantité de sels minéraux ionisables dissous et elle augmente avec la mobilité des ions fonction de la température. C'est un indicateur du taux de minéralisation (sels dissous) de l'eau, en particulier la carbonatation et l'influence haline. La conductivité croît progressivement de l'amont vers l'aval des cours d'eau, les écarts étant plus significatifs que la minéralisation initiale est faible. Ce paramètre ne saurait être un indicateur d'altération anthropique car trop soumis à des paramètres physico-chimiques naturels. Cependant, pour les eaux usées leur forte concentration en sels dissous augmente la conductivité. Les diatomées sont sensibles à ce paramètre et sont réparties en 5 classes de qualité (Van Dam et *al.*, 1994).

⁸ ayant une affinité aux conditions d'oxygénation du milieu

2.2 Mesures de laboratoire

Les paramètres mesurés par les réseaux et préconisés pour la construction de l'indice sont regroupés dans le tableau II. Les méthodes de détection et les limites de quantifications seront décrites lors de l'acquisition de l'ensemble des résultats remis par les laboratoires d'analyses impliqués; l'IRD, la CDE et les laboratoires internes à KNS et Vale-NC, attendus pour courant mars 2013.

Tableau II: Analyses de laboratoire préconisées pour la construction de l'indice diatomique.

	Mesures en laboratoire (en mg/l)	Réseaux de suivi				
		DAVAR	SLN	Vale-NC	KNS	Asconit/ Biotop
Descripteurs d'altération anthropique	Ammonium (NH ₄)	X		X		X
	Nitrates (NO ₃)	X	X	X		X
	Nitrites (NO ₂)			X		X
	Azote Kjeldahl (NTK)	X				
	N Total Dissous			X		X
	Phosphore Total Dissous	X		X		X
	Orthophosphates (PO ₄)	X		X		X
	Demande Biologique en Oxygène (DBO5)				X	X
	Demande chimique en Oxygène (DCO)	X		X	X	
	Matières En Suspension (MES)	X	X	X	X	X
Descripteurs de la géo-hydrochimie naturelle	Calcium dissous (Ca)	X	X	X		X
	Magnésium dissous (Mg)	X	X	X	X	X
	Chlorures dissous (Cl)	X	X	X	X	X
	Sodium dissous (Na)	X	X	X	X	X
	Sulfates (SO ₄)	X	X	X	X	X
	Potassium dissous (K)	X	X	X	X	X
	Aluminium dissous (Al)	X	X	X	X	X
	Chrome dissous (Cr)	X	X	X	X	X
	Cobalt (Co)		X	X	X	X
	Fer dissous (Fe)	X		X	X	X
	Nickel dissous (Ni)	X	X	X	X	X
	Silicium dissous (Si)		X	X	X	X
Titre Alcalimétrique Complet (TAC) (en °f ou mg/l)	X		X		X	

Entre réseaux et au sein d'un même réseau selon les années, les paramètres mesurés peuvent être différents comme décrit dans ce tableau. Cependant, certaines données peuvent être retrouvées par le calcul. La DBO5 peut être estimée d'après le rapport DCO/DBO5 proche de 2,5 dans les eaux naturelles et de 5 dans les eaux traités (Servais et al., 1999b). Le traitement de ces données parcellaires doit faire l'objet d'une concertation. Ce même problème s'est posé lors de l'établissement de l'indice diatomique à la Réunion ou aux Antilles. Dans l'état actuel des analyses multivariées employées, si une donnée manque dans

une ligne de descripteur, c'est tout le relevé qui est perdu pour l'analyse. La solution apportée a été de reconstituer les valeurs en bonne intelligence et de les mettre en évidence lors des analyses. Lors des prochaines campagnes, en toute connaissance des analyses effectuées par réseau, des analyses complémentaires pourront être effectuées.

Des prélèvements d'eau ont été effectués lors de l'échantillonnage des diatomées pour les stations ne rentrant pas dans le cadre d'un réseau de suivi actuel ou en cas d'incertitude sur le suivi (DMN11, MOI11 et FON11). En effet, il y avait une incertitude sur la localisation de la station DMN11 par rapport à la station de suivi, en raison des aléas du terrain dus à la recherche des itinéraires. Les stations MOI11 et FON11 ont été échantillonnées parce que jugées intéressantes du point de vue d'une dégradation apparente par les opérateurs lors d'une tournée de prélèvement, sans savoir qu'elles étaient calées sur des stations de réseau. Deux stations n'ont pas été prélevées, TAO11 et HIE11 car considérées *a priori* déjà suivies et qui ne l'étaient finalement pas. Sur le réseau de la SLN et de KNS certains paramètres préconisés pour la construction de l'indice, comme l'ammonium, et les phosphates, ne sont pas mesurés. Des prélèvements ont donc aussi été effectués. L'ensemble de ces stations sont regroupées dans le tableau III:

Tableau III: Stations de prélèvement d'eau.

Stations échantillonnées
ADO11
APA11
APE11
AWA11
BOG11
COC11
DIA11
DIA21
DIA31
DMN11
EGL11
FON11
KAO21
KAR11
KAR21
MAM11
MOI11
NOM11
OUA11
OUA21
RIL11
RIL21
TAD11
TCH11
TCH21
TEN11
TIW11
TIW21
TIW31
TLN11
TLS11
WAN11
WAO11
YAH11
YAH21

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. Les processus de mise en solution des phases particulières n'est réduit que par la réduction du délai entre le prélèvement et le traitement de l'échantillon. 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.

2.2.1 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.

- **L'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 STEP⁹) ou de lixiviation d'engrais ammoniaqués, est un témoin d'altération anthropique.

- **Les 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).

- **Les 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.

- **L'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. Les diatomées répondent à ce paramètre en complément avec les nitrates (Van Dam et *al.*, 1994).

⁹ STation d'EPuration

- **DBO5 (mg(O₂)/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(O₂)/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.

2.2.2 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. Sinon, une forte concentration peut indiquer une pollution par des eaux usées domestiques (sels régénérant des détergents) ou d'usages industriels.
- **Sulfates**: ils caractérisent des eaux particulières et signent une nature géologique régionale ou certains effluents anthropiques. Issus de l'oxydation de sulfures présents dans les sols/roches/sédiments, présents naturellement dans certains vertisols¹⁰ calédoniens (Podwojewsky, 1988). Ils composent les résidus

¹⁰ sols riches en argile de type smectite, anciennement appelés «argile noire tropicale»

solides sous forme de gypse, issus par exemple du traitement de la latérite par acide sulfurique comme sur le site de Valé-NC, dans le sud de l'île, la dissolution du gypse peut augmenter le pH. Des concentrations importantes dans l'eau sont le signe d'une altération anthropique, comme les apports en engrais et en pesticides.

- **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.

- **Al, Cr, Co, Fe, Ni:** ces éléments se trouvent en solution ou complexés, influençant leur biodisponibilité, selon entre autre, le pH de l'eau.

- **Si:** 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).

- **TAC:** le Titre Alcalimétrique Complet (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. 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 conditions chimiques naturelles représentant bien le gradient entre des eaux peu minéralisées et acides et des eaux géochimiquement très minéralisées et plutôt basiques. Mais 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...).

3 Résultats

3.1 Compte rendu de terrain

Ce sont donc 64 stations prélevées, 23 stations sont considérées comme des références, 19 stations sont considérées sous l'influence d'un impact anthropique d'origine domestique et/ou agricole et 18 stations sous l'impact de la mine. Quatre stations se sont révélées soumises au régime des marées.

Le bilan du nombre des stations par HER est de:

- 10 stations pour l'HER D,
- 31 stations pour l'HER B,
- 4 stations pour l'HER C,
- 3 stations pour l'HER F,
- 10 stations pour HER G,
- 6 stations pour l'HER E.

Cette disparité apparente est le reflet de l'accessibilité aux stations, de la différence de densité de peuplement entre HER permettant de révéler un impact anthropique, de l'actuel réseau de surveillance de la DAVAR concentré sur l'HER B.

Trois stations sur la Kué principale et une sur la Kué Nord restent à échantillonner.

Les renseignements concernant chaque station sont consignés sur les fiches disponibles en annexe 4.

Les prélèvements d'eau ont été effectués sur 35 stations.

L'accès au cours d'eau implique parfois de se rendre en tribus ou chez des particuliers. L'accueil réservé a toujours été bienveillant et le passage autorisé. La population locale est d'ailleurs assez renseignée sur l'écologie environnante et peut être une source d'information complémentaire.

3.2 Résultats des mesures *in situ*

L'ensemble des résultats des mesures physico-chimiques relevées sur le terrain est présenté dans les figures 11, 12 et 13.

La précision des mesures est de: $\pm 0,2$ °C pour la température, $\pm 0,1$ % pour la saturation en O₂ dissous, $\pm 0,2$ pour le pH, ± 1 mS pour la conductivité.

Le code couleur représente la classe de qualité pressentie;

- vert: référence,
- jaune: altération domestique et/ou agricole,
- orange: impact minier,
- bleu: influence haline avérée.

Les moyennes générales citées et les maxima et minima ne prennent pas en compte les stations sous influence haline avérée car les inventaires floristiques de ces stations ne rentreront pas dans le calcul de l'indice diatomique.

Les mesures sont présentées sous forme de tableau en annexe 2.

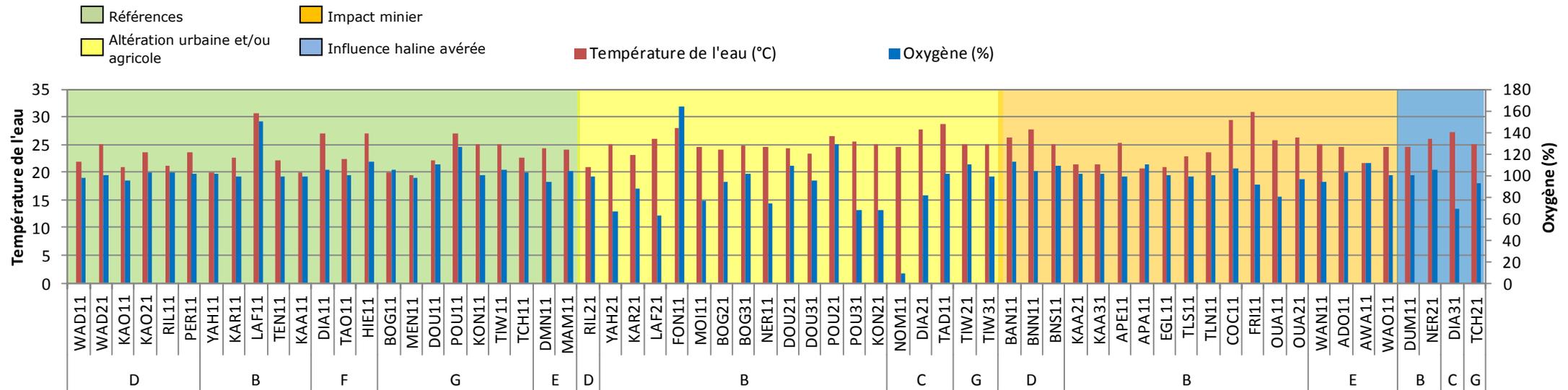


Figure 11: Température (°C) et pourcentage de saturation en O₂ dissous des différentes stations échantillonnées.

La moyenne des températures est de 24,4°C. Le minimum est relevé pour MEN11 avec 19,5°C, station en forêt humide et ombragée, et un maximum de 30,9°C pour FRI11, station prélevée vers 15h, en milieu ouvert, présentant une séquence lentique à l'amont.

La teneur en pourcentage d'oxygène est la plus basse en moyenne pour les stations où une altération domestique et/ou agricole est envisagée. Avec une moyenne de 88,1 % contre 104,7 % et 101,0% respectivement pour les stations de référence et liées à la mine. Ce déficit peut traduire un déséquilibre dû à la décomposition de la matière organique en quantité excessive.

La plus faible valeur de 9,1 % est observée pour NOM11 où un biofilm bactérien est apparent sur la station et la vitesse du courant est faible, le milieu est proche de l'anaérobiose.

Les 4 valeurs les plus élevées sont enregistrées pour LAF11 (150,0 %) et POU11 (125,9 %) comme stations de référence et FON11 (164,0 %) et POU21 (129,1 %) comme stations altérées hors mine. Cette sursaturation peut être due à une activité photosynthétique intense due à une eutrophisation du milieu en raison d'apports excessifs en nutriments. D'ailleurs de la végétation aquatique (comme des algues) a été repérée. Ces stations de référence pourront éventuellement être redéfinies.

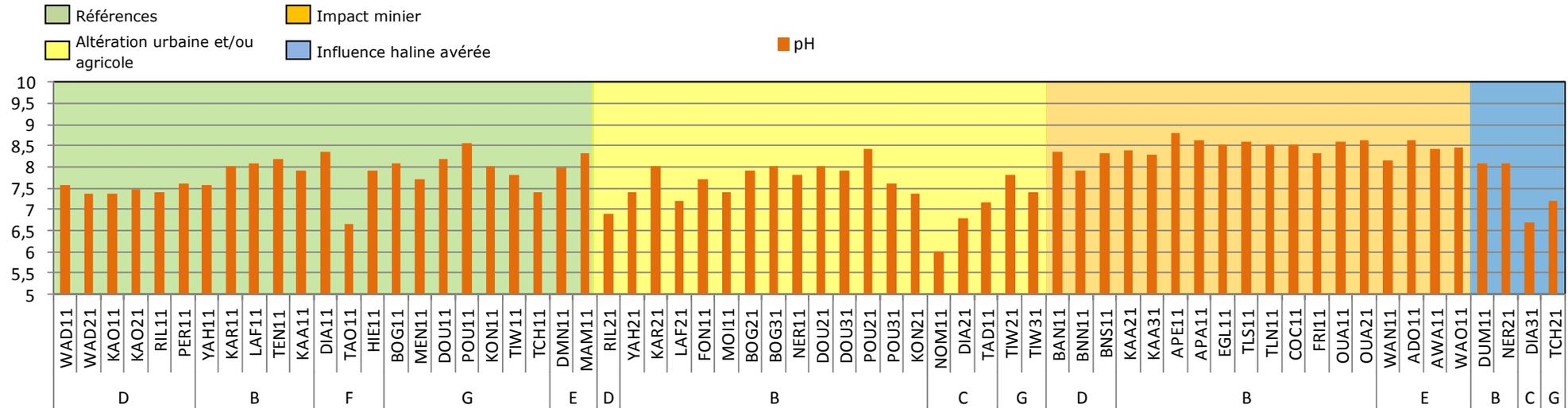


Figure 12: Valeurs de pH des eaux des différentes stations échantillonnées.

Les moyennes de pH entre les groupes de station, références (7,8), altérées (7,5) et sous impact minier (8,4), fait apparaître le caractère basique des eaux circulant sur substrat ultramafique. A la station POU11, le pH relativement élevé de 8,6 peut être dû aux apports exogènes de ses affluents en provenance du massif de Kopeto, situé sur un klippe de péridotite.

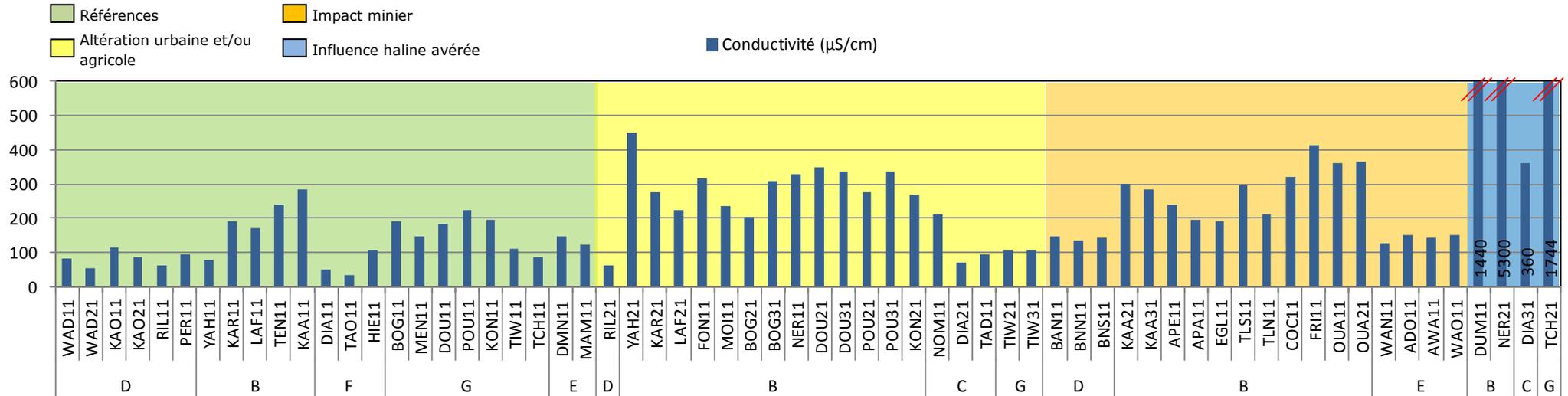


Figure 13: Conductivité (µS/cm) des eaux des différentes stations échantillonnées.

Les moyennes entre les 3 groupes de stations (hors influence haline) sont de 132 µS/cm (références), 240 µS/cm (altérées) et 232 µS/cm (mines). La conductivité de 360 µS/cm mesurée à la station DIA31, révèle que les stations sous influence haline peuvent avoir des conductivités comparables aux eaux douces en marée basse au niveau du site de prélèvement.

Les stations de références situées en tête de bassin, où les cours d'eau n'ont pas le temps de se minéraliser présentent des conductivités plus faibles en moyenne que les stations altérées situées en aval dans le bassin versant.

Les caractéristiques lithologiques influencent la teneur en sels dissous du cours d'eau. Ainsi, les différences de conductivité observées entre HER, indépendamment de la

classe de qualité envisagée, est due à la nature des roches traversées.

Le maximum de 450 µS/cm est relevé, à la station YAH21 sur le site à l'aval d'une station d'épuration de Nouméa, au lieu-dit du Pont des français, alors que la station de référence amont YAH11 enregistre une conductivité de 76 µS/cm. La STEP semblerait la cause des effluents chargés en sels dissous dans le cours d'eau. Bien que cette station soit suspectée d'être sous influence haline, les données DAVAR récemment acquises, permettent d'observer que la station connaît régulièrement une conductivité élevée sans toutefois atteindre un seuil de salinité correspondant à de l'eau saumâtre, valeurs s'échelonnant de 303 à 740 µS/cm sur 6 mesures (annexe 3).

3.3 Résultats préliminaires des substrats artificiels

Malgré la destruction du matériel au premier essai, des résultats peuvent être décrits.

Les observations ont été les suivantes après 17 jours d'immersion:

- pas de colmatage de la face dirigée vers l'amont des cagettes, ce qui réduirait de manière drastique le courant au sein de la cagette, ni au niveau de la face supérieure, ce qui réduirait l'accès à la lumière (figure 7b),
- aucune trace de broutage ou de colonisation parasite des cagettes par des crevettes ou des poissons n'a pu être détectée,
- la colonisation entre les lames est homogène à vue d'œil,
- il existe des différences notables de colonisation des lames entre les stations, voir figure 11 ci-dessous.



Figure 14: Colonisation des lames à J+17, a) station BNN11, b) station BNS11, c) station BAN11, d) station KAO21.

4 Conclusion

Cette première campagne de prélèvement a permis l'application du protocole utilisé en routine en métropole pour le prélèvement des diatomées benthiques aux rivières calédoniennes de manière relativement aisée. Les substrats sont nombreux, fréquents, au niveau des stations échantillonnées, ce qui permet de retenir les cailloux, galets ou blocs comme substrat de prédilection en vue d'une utilisation en routine. Dans les cas, où ces substrats étaient absents, des macrophytes ont toujours été trouvés sur lesquels il a été possible de prélever. Le biofilm est apparu important dans la plupart des cas (à l'exception de DMN11, TIW11, et MEN11, ce qui demande simplement de frotter au moins 10 pierres) et facilement échantillonnable avec une simple brosse à dents, ce qui permet de penser que de nombreuses diatomées sont présentes. Les échantillons sont actuellement en cours de traitement au laboratoire et les premières lames réalisées qui ont été observées révèlent la présence de diatomées en concentrations habituelles.

La campagne en saison humide nécessitera éventuellement un réajustement de l'accès aux stations et sans doute quelques modifications du plan d'échantillonnage à cause de creeks inondés ou de l'élévation trop importante de la colonne d'eau.

Certaines stations pourront aussi être déplacées ou reclassées au vu des analyses physico-chimiques de terrain et de laboratoire dont les résultats devraient être connus courant du mois de février/mars.

L'expérience des substrats artificiels sur site minier se poursuit et permettra de confirmer ou d'infirmier l'utilisation de cette méthodologie en routine pour le suivi spécifique des pollutions métalliques. Précisons que cette expérience sert également d'étude de faisabilité pour le développement d'un programme plus complet en écotoxicologie aquatique et spécifiquement dédié à l'utilisation des diatomées en tant que biomarqueurs spécifiques des altérations de la qualité des écosystèmes aquatiques par modifications des flux d'ETM renfermés dans les sols et sous-sols ultramafiques calédoniens par l'exploitation minière, mais également les autres facteurs non-naturels d'érosion (cerfs, cochons ou feux de brousses).

5 Bibliographie

- Biotop (2012). Suivi de la faune dulçaquicole de la ZES du Projet Koniambo suivi 2011-2012.
- Asconit, Biotop (2011). Définition des Hydro-écorégions dans le cadre des conseils de l'eau.
- Duong, T. T., Morin, S., Coste, M., Herlory, O., Feurtet-Mazel, A., & Boudou, A. (2010). Experimental toxicity and bioaccumulation of cadmium in freshwater periphytic diatoms in relation with biofilm maturity. *The Science of the total environment*, 408(3), 552-62. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.10.015.
- Gold, C., Feurtet-Mazel A., Coste M., & Boudou A. (2003). Effects of cadmium stress on periphytic diatom communities in indoor artificial streams. *Freshwater Biol.* 48:316-328.
- Lane, C. M., Taffs, K. H., & Corfield, J. L. (2003). A comparison of diatom community structure on natural and artificial substrata. *Water*, 65-79.
- Lawrence, J. R., Chenier, M. R., Roy, R., Beaumier, D., Fortin, N., Swerhone, G. D. W., Neu, T. R., et al. (2004). Microscale and Molecular Assessment of Impacts of Nickel , Nutrients , and Oxygen Level on Structure and Function of River Biofilm Communities. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(7), 4326-4339. doi:10.1128/AEM.70.7.4326.
- Le Cohu, R. (1985). Ultrastructure des diatomées de Nouvelle-Calédonie. Première partie. *Ann. Limnol.* 21 (1): 3-12.
- Manguet, Y. (2012). Quel trésor sous terre ?, Les Nouvelles calédoniennes, 19/11/2012, pp. 12-13.
- Marquet, G., Keith, P., et Vigneux, E. (2003). *Atlas des poissons et crustacés d'eau douce de la Nouvelle-Calédonie. Patrimoines naturels*, MNHN, 58 :1-282.
- Morin, S., Vivas-Nogues, M., Duong, TT., Boudou, A., Coste, M., Delmas, F. (2007). Dynamics of benthic diatom colonization in a cadmium/zinc-polluted river (Riou-Mort, France). *Fundam Appl Limnol*;168:179-87.
- Moser, G., Steindorf, A. & Lange-Bertalot, H. (1995). Neukaledonien. Diatomeenflora einer Tropeninsel. *Bibliotheca Diatomologica*. 32: 1-340.
- Moser, G., Lange-Bertalot, H. & Metzelin D. (1998). Insel der Endemiten Geobotanisches Phänomen Neukaledonien (Island of endemics New Caledonia - a geobotanical phenomenon). *Bibliotheca Diatomologica* 38: 1-464.
- Moser, G. (1999). Die Diatomeenflora von Neukaledonien. Systematik.Geobotanik.Ökologie Ein Fazit. *Bibliotheca Diatomologica*. 43 - H. Lange-Bertalot & P. Kociolek (Ed.), J. Cramer, Berlin Stuttgart : 205 p.
- 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, *Anales de limnologie T, 6, Fasc, 2*.
- Passy, S. I., Yangdong Pan, Lowe R. L. (1999). Ecology of the major periphytic diatom communities from the Mesta River, Bulgaria. *International review of hydrobiology*. Vol. 84, no2, pp. 129-174 (3 p.). ISSN 1434-2944.
- Podwojewsky P. (1988). Les vertisols de Nouvelle-Calédonie. *Cah. ORSTOM, sér. Pedol., XXIV, n°4, 1988: 279-301*.
- Prygiel, J., Carpentier, P., Almeida, S., Coste, M., Druart, J.-claude, Ector, L., Guillard, D., et al. (2002). Determination of the biological diatom index (IBD NF T 90 – 354): results of an intercomparison exercise. *Journal of Applied Phycology*, (September 1999), 27-39.
- Servais, P., M., Seidl & J.M. Mouchel. (1999b). Comparison of parameters characterising organic matter in a combined sewer during rain events and dry weather. *Water Environmental Research*. 71 : 408-417.
- Tison, J., Park, Y.-S., Coste, M., Wasson, J. G., Ector, L., Rimet, F., & Delmas, F. (2005). Typology of diatom communities and the influence of hydro-ecoregions: a study on the French hydrosystem scale. *Water research*, 39(14), 3177-88. doi:10.1016/j.watres.2005.05.029
- Van Dam, H., Mertens, A., & Sinkeldam, J. (1994). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28, 117-133.
- Wasson, J.G, Chandesaris, 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.

6 ANNEXES

Annexe 1: Tableau des stations de prélèvement et types de pollutions envisagées

 Références	 Impact
 Altération urbaine et/ou agricole	 Influence haline

CODE STATION	pollution envisagée	COURS D'EAU	LOCALISATION	COMMUNE	HER		
WAD11	référence en contexte minier sur cuirasse, côte est	WADJANA		Yaté	D: Plaine du Grand Sud Plateau du sud < 500m Très arrosé Nappe de péridotite		
WAD21	référence en contexte minier sur laterite, côte est						
KUE11	impact de la mine	KUE	mine Vale-NC				
KUE21							
KUE31							
KUN11							
BAN11							
BNN11	impact de la mine	BAIE NORD bras nord BAIE NORD bras sud					
BNS11							
KAO11	référence en contexte minier sur cuirasse, côte ouest	KAORIS		Mont-Dore			
KAO21	référence en contexte minier sur laterite, côte ouest						
RIL11	zone humide, milieu de tourbière, milieu lentique à l'amont (Lac en Huit)	RIVIERE DES LACS	Plaine des Lacs				
RIL21	pollution domestique, présence d'un camping en amont						
PER11	zone humide, milieu de tourbière						
YAH11	référence amont de YAH21, référence sud de HER B	YAHOUÉ	Yahoué	Nouméa	B: Plaine littorale Ouest Pénéplaine littorale Collinaire < 250m Peu arrosé Géologie hétérogène		
YAH21	pollution domestique, urbaine, éventuelle influence haline						
DUM11	pollution domestique, urbaine, influence haline	DUMBEA	aval Dumbea	Dumbea			
KAR11	référence amont	KARIKOUÏE	amont Païta	Païta			
KAR21	pollution domestique, urbaine, agricole		aval Païta				
LAF11	référence amont de LAF21	LA FOA	amont La Foa	La Foa			
LAF21	pollution domestique, urbaine		aval La Foa				
FON11	pollution agricole	FONWHARY	Tiha	Moindou			
MOI11	pollution domestique, urbaine	MOINDOU	dans Moindou				
BOG21	référence amont de BOG31		Vallée Belpatrone				
BOG31	pollution domestique, urbaine, agricole	BOGHEN	Trou aux perruches				
TEN11	référence HER B	TENE	vers tribu Bouindi Assala				
NER11	pollution domestique, urbaine, éventuelle influence haline	NERA	amont Bourail	Bourail			
NER21	pollution domestique, urbaine, influence haline		aval Bourail				
DOU21	pollution domestique, urbaine, agricole	DOUENCHEUR	amont lointain Bourail				
DOU31	pollution domestique, urbaine, agricole		amont proche Bourail				
AKA11	référence HERB sur mine	Affluent MWE KARA AWI	mine Pinpin	Poya			
AKA21	impact de la mine					Affluent PEOUE	mine Kopeto
AKA31						Affluent PAPAÏNDA	
APE11						Affluent PAPAÏNDA	
APA11							
EGL11							
POU21	pollution domestique, agricole faible (impact tribus)	POUEMBOUT	amont proche village	Pouembout			
POU31	pollution domestique, urbaine, agricole		Barrage à sel				
KON21	pollution domestique, urbaine	KONE	aval Kone	Kone			
TLS11	impact de la mine	TALEA branche sud	mine Koniambo				
TLN11		TALEA branche nord					
COC11		COCO (=TALEA)					
FRI11	impact de la mine	FRIDOLINE		Koumac			
OUA11	impact de la mine, référence amont de OUA21	OUAMBAYE	mine Tiébaghi				
OUA21	impact des rejets de Chromical, eau et boue accumulées d'anciennes carrières de chrome						
NOM11	pollution organique naturelle forte	NOMAC	route transversale VU4	Poum	C: Collines schisteuses de la pointe Nord		
DIA21	pollution domestique, agricole, faible, éventuelle influence haline	DIAHOT	amont Manguine St-Ferdinand	Ouegoa	Pénéplaine littorale Collinaire < 250m Peu arrosé		
DIA31	pollution domestique, agricole, influence haline		Fern Hill				
TAD11	pollution domestique, agricole faible (impact tribus)	TADE	amont confluence DIAHOT				
DIA11	référence amont DIAH21, référence HER F dans les terres	DIAHOT	Paimboas	Ouegoa	E: Massif du Panié Chaîne centrale Montagneux > 500m Très arrosé		
TAO11	référence littorale	TAO	Tao	Hienghene			
HIE11	référence HER F dans les terres, éventuel impact tribus	HIENGHENE	amont Lewarap				
BOG11	référence amont de BOG21, référence HER G	BOGHEN	amont Katrikoin	Bourail			
MEN11	référence HER G	WA MENAO	Pothe				
DOU11	pollution domestique, agricole, faible (impact tribus)	DOUENCHEUR	Pothe	Pouembout			
POU11	référence amont de POU21	POUEMBOUT	amont lointain village				
KON11	référence amont de KON21, référence HER G, limite de bassin	KONE	amont Poindah	Kone	G: Cœur de la chaîne centrale Chaîne centrale Montagneux > 500m Très arrosé Unité Anté Sémonienne (socle de la chaîne centrale)		
TIW11	pollution domestique, agricole faible (impact tribus)	TIWAKA	Bopope	Poindimié			
TIW21	pollution domestique, agricole faible (impact tribus), potentiels déversements de produits chimiques (agricoles, entretien...) sur la route		Pombeï				
TIW31	impact tribus et potentiels déversements de produits chimiques (agricoles, entretien...) sur la route		Tiwaka				
TCH11	référence amont TCH21, référence HER G	TCHAMBA	Tchamba				
TCH21	impact agricole, influence haline		aval confluence Nepwe Purua				
DMN11	référence amont de DUM11, limite HER B/HER E	DUMBEA branche nord	amont Trou des Nurses	Dumbea	E: Massif ultramaphique Chaîne centrale Montagneux > 500m Très arrosé		
WAN11	impact de la mine zone littoral	WANEBWAYO	mine Poro	Poro			
ADO11	impact de la mine zone littoral	Affluent DOTHI	mine Wellington	Thio			
AWA11	impact de la mine dans les terres	Affluent WANO	mine tontouta	Bouloupari			
WAO11		WANO					
MAM11	référence littorale	MAMIE	Unia	Yate			

Annexe 2: Tableau des relevés des mesures physico-chimiques *in situ*

	PHYSICO-CHIMIE - MESURES DE TERRAIN				
	Température de l'eau (°C)	Oxygène (mg/l)	Oxygène (%)	pH	Conductivité (µS/cm)
WAD11	21,9	8,6	97,8	7,6	82
WAD21	25,0	8,2	99,8	7,4	53
KA011	20,9	8,3	95,1	7,4	115
KA021	23,7	8,7	102,1	7,5	85
RIL11	21,2	9,0	102,5	7,4	61
PER11	23,5	8,4	101,5	7,6	95
YAH11	20,0	9,1	101,0	7,6	76
KAR11	22,7	8,5	99,0	8,0	192
LAF11	30,6	11,1	150,0	8,1	169
TEN11	22,2	8,4	98,3	8,2	241
KA011	20,0	8,7	99,4	7,9	285
DIA11	27,0	8,4	105,4	8,4	48
TAO11	22,5	8,6	99,5	6,7	32
HIE11	27,0	9,0	112,0	7,9	107
BOG11	20,0	9,3	105,5	8,1	192
MEN11	19,5	8,5	97,5	7,7	148
DOU11	22,2	9,5	110,3	8,2	182
POU11	27,0	10,0	125,9	8,6	222
KON11	25,0	8,2	100,0	8,0	195
TIW11	25,0	8,5	105,0	7,8	111
TCH11	22,7	8,9	103,2	7,4	88
DMN11	24,4	7,8	94,1	8,0	145
MAM11	24,2	8,3	104,0	8,3	123
RIL21	21,0	8,6	98,5	6,9	60
YAH21	25,0	5,4	66,4	7,4	450
KAR21	23,0	7,7	88,0	8,0	277
LAF21	26,0	5,0	62,0	7,2	225
FON11	28,0	13,1	164,0	7,7	315
MOI11	24,5	6,3	76,0	7,4	235
BOG21	24,0	7,7	94,3	7,9	204
BOG31	24,9	8,3	101,0	8,0	309
NER11	24,5	6,2	73,8	7,8	330
DOU21	24,4	9,0	108,9	8,0	348
DOU31	23,4	8,0	94,6	7,9	337
POU21	26,6	10,5	129,1	8,4	277
POU31	25,5	5,6	67,7	7,6	335
KON21	25,0	5,4	67,4	7,4	269
NOM11	24,5	0,9	9,1	6,0	211
DIA21	27,8	6,4	81,0	6,8	70
TAD11	28,7	7,9	101,4	7,2	94
TIW21	25,0	9,1	110,5	7,8	106
TIW31	25,0	8,2	98,9	7,4	108
BAN11	26,2	9,0	112,1	8,4	146
BNN11	27,7	8,2	104,2	7,9	135
BNS11	25,0	8,9	108,3	8,3	141
KA021	21,3	8,8	101,4	8,4	301
KA031	21,3	8,7	101,3	8,3	284
APE11	25,4	8,1	99,4	8,8	239
APA11	20,7	9,8	109,7	8,6	196
EGL11	21,0	8,9	99,5	8,5	189
TLS11	22,8	8,5	98,9	8,6	295
TLN11	23,5	8,5	100,1	8,5	210
COC11	29,5	8,1	106,5	8,5	322
FRI11	30,9	6,8	91,3	8,3	413
OUA11	25,8	6,5	80,0	8,6	360
OUA21	26,4	7,8	96,8	8,6	365
WAN11	24,9	7,8	94,0	8,1	125
ADO11	24,5	8,6	102,9	8,6	152
AWA11	21,8	9,8	111,7	8,4	144
WAO11	24,6	8,3	100,0	8,5	150
DUM11	24,6	8,3	100,0	8,1	1440
NER21	26,1	8,5	105,2	8,1	5300
DIA31	27,3	5,5	69,4	6,7	360
TCH21	25,0	7,6	92,7	7,2	1744

référence
pollution domestique et/ou agricole
impact de la mine
influence haline avérée

Annexe 3: Tableau de résultats de conductivité du réseau DAVAR

Cours d'eau	Code station campagne 1	Code station DAVAR	Préleveur	Date de prélèvement	Heure de prélèvement	Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$
DIAHOT	DIA31	DIAH400	GINGER SOPRONER	04/01/1993	10:30	6890
			SITEE	04/10/1994	10:45	8700
YAHOUÉ	YAH21	YAHO300	GINGER SOPRONER	24/11/1992	16:00	740
			A2EP	16/11/1993	13:00	535
			A2EP	24/10/1994	09:00	452
			A2EP	21/11/1996	09:30	358
			A2EP	14/11/1997	11:30	303
			A2EP	09/11/1998	09:30	342,1

Ces mesures illustrent la détection d'une entrée maritime, grâce à la mesure de la conductivité, au niveau d'une station de prélèvement.

La station DAVAR DIAH400, de cette campagne est nettement sous influence haline alors que le doute subsiste à la station YAHO300.

Malgré l'ancienneté de ces données, elles restent d'actualité au moins au niveau du Diahot car le marnage n'a pas dû évoluer dans la mesure où aucun ouvrage conséquent n'a été construit sur le cours d'eau.

Annexe 4: Fiches stations



Partenaires

