



ANNEXE III-A-5

Projet Goro Nickel

DEMANDE D'AUTORISATION D'EXPLOITER DES INSTALLATIONS CLASSEES

MILIEU ECOLOGIQUE TERRESTRE

FAUNE D'EAU DOUCE

- Erbio, *Ecosystème d'eau douce, Partie I : état initial*, janvier 2005



ETUDES ET
RECHERCHES BIOLOGIQUES

PROJET GORO NICKEL

ÉCOSYSTÈME D'EAU DOUCE

PART I : CARACTÉRISATION DE L'ÉTAT INITIAL



Janvier 2005

RÉSUMÉ

Ce rapport vise à présenter une synthèse des connaissances actuelles sur la faune d'eau douce de Nouvelle-Calédonie en vue de la caractérisation de l'état initial de la zone d'impact du projet d'extraction minière Goro Nickel.

Ce document dresse tout d'abord un portrait général des milieux aquatiques rencontrés en Nouvelle-Calédonie ainsi que les habitats associés. Les divers stress supportés par ces milieux, qu'ils soient d'origine physicochimique, biologique, météorologique ou anthropique, sont également décrits.

L'état des connaissances sur la faune ichthyenne et les macroinvertébrés d'eau douce est ensuite détaillé à l'échelle du Territoire ainsi que pour le secteur plus précis de Goro Nickel.

L'EQUIPE

- Christine Pöllabauer, docteur ès sciences (zoologie, biochimie), directrice, spécialisée en hydrobiologie et malacologie ; investigations dans des rivières calédoniennes depuis 1981 ; formation spécialisée et thèse sur les communautés benthiques de rivière (mollusques), formation complétée par diverses études d'impact dans le secteur des mines depuis 1993 (les rivières du massif Tiébaghi, de Pouembout et de la Népoui, de Cap Bocage ont été brièvement inventoriées ainsi que des études pluriannuelles sur les sites miniers dans le Sud).
- Nicolas Bargier, Ingénieur hydrobiologiste, spécialisé dans les IBGN, IPR et les contrats de rivières, coordinateur de bassin versant pendant 3 ans (suivi de qualité pluridisciplinaire). Diverses études d'impact dans le secteur des mines, des plans d'eau stagnants, des cours d'eau et des barrages en Nouvelle-Calédonie depuis début 2004.
- Sophie De Ruyver, biologiste ayant une maîtrise de biologie des organismes et des populations et un DESS en Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, option génie écologique, elle a acquis une expérience professionnelle d'hydrobiologiste durant ses contrats de coordinatrice d'un conseil de bassin de rivière en France et au Québec.

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	I
L'EQUIPE	II
I. OBJECTIFS	1
II. ETAT DES CONNAISSANCES	2
II.1. CARACTERISATION DU MILIEU	2
II.1.1 Les cours d'eau de Nouvelle-Calédonie	2
II.1.1.1 Le cadre géographique	2
II.1.1.2 Les régimes hydrologiques	2
II.1.1.3 Les différents types de rivières	4
II.1.1.4 La zonation des cours d'eau	5
II.1.2 Les zones humides de Nouvelle-Calédonie	6
II.1.2.1 Les mangroves	6
II.1.2.2 Les lacs, les étangs et les marais	6
II.1.3 La classification des habitats aquatiques	6
II.1.4 La région de Goro Nickel	8
II.1.4.1 Les principaux bassins versants	8
II.1.4.2 Les zones humides	8
II.1.4.3 La nappe phréatique	8
II.1.4.4 La qualité physico-chimique de l'eau	8
Carte 2 : Réseau hydrographique du Sud-est de la Grande Terre	9
II.1.4.5 Les habitats aquatiques	10
II.2. STRESS SUPPORTES PAR LES ESPECES AQUATIQUES	16
II.2.1 Facteurs physico-chimiques de l'eau	16
II.2.1.1 Température	16
II.2.1.2 pH	17
II.2.1.3 Oxygène	18
II.2.1.4 Matières en suspension	18
II.2.1.5 Nutriments	18
II.2.1.6 Métaux lourds	19
II.2.2 Stress biologiques	20
II.2.2.1 La disponibilité des nutriments	20
II.2.2.2 Les migrations	20
II.2.2.3 Les espèces introduites	21
II.2.3 Stress lié aux conditions météorologiques	22
II.2.3.1 Pluies, crues	22
II.2.3.2 Sécheresse	22
II.2.3.3 Température	22
II.2.4 Stress d'origine anthropique	23
II.2.4.1 La dégradation du couvert végétal	23
II.2.4.2 Les activités agropastorales	23
II.2.4.3 Les activités minières	24
II.2.4.4 L'exploitation des ressources aquacoles	24
II.2.4.5 Les activités récréatives	25
II.2.4.6 Les décharges	25
II.3. INVENTAIRES FAUNISTIQUES	26
II.3.1 L'ichtyofaune d'eau douce	26
II.3.1.1 Histoire de l'étude des eaux douces	26
II.3.1.2 Composition spécifique	26



II.3.1.3	<i>Abondance relative</i>	28
II.3.1.4	<i>Distribution</i>	29
II.3.1.5	<i>Biologie</i>	34
II.3.1.6	<i>Valeur intrinsèque et d'usage</i>	38
II.3.1.7	<i>Teneurs en métaux des poissons</i>	40
II.3.2	<i>Macroinvertébrés d'eau douce</i>	43
II.3.2.1	<i>Historique des études</i>	43
II.3.2.2	<i>Composition spécifique</i>	44
II.3.3	<i>Les connaissances à l'échelle du Projet Goro Nickel</i>	48
II.3.3.1	<i>Les rivières du secteur de Goro</i>	48
II.3.3.2	<i>Les lacs et les dolines du secteur de Goro</i>	54
III.	BIBLIOGRAPHIE	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Zonation des cours d'eau de Nouvelle-Calédonie	5
Tableau 2 : Classification des habitats aquatiques de Nouvelle-Calédonie.....	7
Tableau 3 : Qualité des habitats des principales rivières du secteur de Goro (Erbio, 2000).	11
Tableau 4 : Principaux habitats des poissons en saison sèche pour les six principales rivières du secteur de Goro (Erbio, 2000).....	12
Tableau 5 : Qualité d'habitat rencontrée sur trois dolines du secteur de Goro (Erbio 2000).	14
Tableau 6 : Températures de l'eau provoquant une mortalité de 50% (LD 50) chez le Black-bass et chez la carpe en fonction de la température d'acclimatation préalable (D'après Charlon, 1968, dans Arrignon, 1991).....	16
Tableau 7 : Limites de tolérances des animaux aquatiques (d'après Arrignon, 1991)	17
Tableau 8 : Abondance des espèces capturées dans cinq cours d'eau du territoire entre 2003 et 2004.....	28
Tableau 9 : habitats des principales espèces de poissons d'un intérêt halieutique.....	35
Tableau 10 : Teneurs en Cu, Zn et Ni de différents tissus de poissons (Source : Bradley et Morris, 1986).....	40
Tableau 11 : Concentration moyenne des éléments de trace et déviations standards (en µg/g poids sec) dans les branchies et le foie du tilapia <i>Oreochromis andersonii</i> dans la rivière Kafue (Zambie) (Norrgrén, 1999)	42
Tableau 12 : Ichtyofaune recensée dans les rivières du secteur de Goro	49
Tableau 13 : Macroinvertébrés recensés dans les rivières du secteur de Goro.....	52
Tableau 14 : Crustacés décapodes recensés dans les rivières du secteur de Goro.....	53
Tableau 15 : Macroinvertébrés recensés dans la doline de l'usine pilote et dans les dolines de référence DINCO1 et DINCO2	56
Tableau 16 : Macroinvertébrés recensés dans les rivières du secteur de Goro.....	58

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les variables descriptives de l'habitat physique du poisson et les différents types d'abris utilisés au quotidien (Thévenet, 1995).....	7
---	---

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Oro-hydrographie de la Nouvelle-Calédonie (Atlas de Nouvelle-Calédonie, 1992).	3
Carte 2 : Réseau hydrographique du Sud-est de la Grande Terre	9

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : CLASSIFICATION DES HABITATS CORINE-BIOTOPES

ANNEXE II : LISTE DES ESPECES DE POISSONS REPERTORIEES EN NOUVELLE-CALEDONIE,
REPARTITION ET TYPE D'HABITAT

ANNEXE III : MOLLUSQUES RECENSES EN NOUVELLE-CALEDONIE

ANNEXE IV : CRUSTACES DECAPODES RECENSES EN NOUVELLE-CALEDONIE

ANNEXE V : INSECTES AQUATIQUES RECENSES EN NOUVELLE-CALEDONIE

I. OBJECTIFS

Ce rapport a pour objectif de faire la synthèse des connaissances sur les cours d'eau et leur faune en vue de la caractérisation de l'état initial de la zone d'impact du projet Goro Nickel. Cette synthèse porte plus particulièrement sur la faune ichthyenne et les macroinvertébrés d'eau douce des rivières du secteur concerné. L'état des connaissances ainsi dressé permettra d'établir un point de référence pour le suivi environnemental du projet.

II. ETAT DES CONNAISSANCES

II.1. CARACTERISATION DU MILIEU

II.1.1 Les cours d'eau de Nouvelle-Calédonie

La Nouvelle-Calédonie ou plutôt la Grande Terre est parcourue par de nombreuses rivières, l'archipel des Iles Loyauté offrant la particularité de ne comporter aucun réseau hydrographique (Carte 1).

II.1.1.1 Le cadre géographique

La topographie et la structure du Territoire ont imposé la forme du réseau hydrographique. La chaîne centrale d'une altitude moyenne de 1 100 mètres, partage l'île en deux dans le sens de la longueur.

La ligne de crête ou ligne de partage des eaux se dédouble au Nord en deux branches dont la plus orientale est la plus élevée (Mont Panié : 1 628 m). Au sud, la chaîne se transforme en un vaste plateau latéritique de 250 mètres d'altitude sur lequel s'est épanoui un réseau hydrographique original (Plaine des Lacs, rivière de Yaté).

Le relief de la Nouvelle-Calédonie est dissymétrique : la côte Ouest est caractérisée par de longs versants terminés par des plaines côtières parfois larges de plusieurs kilomètres ; la côte Est, quant à elle, est abrupte, ses vallées encaissées. Cette structure ne permet pas le développement de bassins versants et de cours d'eau importants. Le bassin le plus vaste est celui de la Yaté avec une superficie de 437 km², puis viennent les bassins de La Tontouta : 380 km², de la Houaïlou : 340 km². Le Diahot, bien qu'étant le cours d'eau le plus long du Territoire, ne possède qu'un bassin de 292 km² (Atlas de Nouvelle-Calédonie, 1992).

II.1.1.2 Les régimes hydrologiques

La nature du sol, des pentes et de la végétation, mais surtout les irrégularités du régime pluvial affectent les régimes hydrologiques.

La variation des débits mensuels suit évidemment le rythme des précipitations. Les basses eaux s'observent entre août et novembre, l'étiage se produit en moyenne entre octobre et novembre. Les valeurs de débits d'étiage sont essentiellement liées aux régimes pluviométriques et aux capacités de rétention des bassins versants. Les débits d'étiage sont en effet exclusivement alimentés par des nappes souterraines en général peu développées. Ainsi, dans certains cas les rivières tarissent complètement (Iouanga) ou partiellement (Tamoia, Dumbea).

Les débits mensuels sont les plus élevés de janvier à avril avec un maximum centré sur février ou mars. L'irrégularité interannuelle du régime est due essentiellement aux perturbations tropicales plus fréquentes au cours de la saison chaude. Les débits moyens d'un mois donné peuvent varier dans des proportions considérables (de 1 à 100). On observe en effet sur tous les bassins de Nouvelle-Calédonie, exceptée la rivière des Lacs, des crues brutales avec des variations de hauteurs dépassant parfois 10 mètres pour certaines rivières (17 m sur le Diahot) ou des débordements sur plusieurs kilomètres dans certaines régions littorales de l'Ouest (Tontouta, Koumac). Lors du passage du cyclone Gyan, des débits exceptionnels ont été enregistrés tel celui de la Ouaième : 10 500 m³/s pour un bassin de 320 km² (Atlas de Nouvelle-Calédonie, 1992).



Carte 1 : Oro-hydrographie de la Nouvelle-Calédonie (Atlas de Nouvelle-Calédonie, 1992).



II.1.1.3 Les différents types de rivières

En fonction des conditions climatologiques, hydrologiques et des similitudes morphologiques, on distingue plusieurs types de cours d'eau :

- Les rivières de la côte Est, très nombreuses car bien alimentées (1 500 à 4 000 mm de pluie par an), prennent naissance dans la chaîne centrale à une altitude voisine de 1 000 mètres. Coulant dans un chenal étroit, elles s'élargissent ensuite pour aboutir parfois à des embouchures très vastes (Tchamba, Tiwaka).
- Au Sud-est, des cours d'eau aux pentes généralement fortes coulent dans un chenal étroit coupé de rapides et de cascades avant de rejoindre des estuaires parfois profonds (Neba).
- Sur la côte Ouest, les rivières sont groupées en éventail et convergent en général vers de grandes baies, contournant les massifs péridotiques, puis traversent des zones sédimentaires moins résistantes, déterminant ainsi un modelé collinaire. Elles présentent souvent dans leur partie basse un cours sinueux se terminant par une zone deltaïque (Koné, Pouembout).
- Au Sud-ouest, le cours supérieur des rivières s'apparente assez à ceux des rivières du Sud-Est. Par contre, dans leurs cours inférieurs, elles coulent dans des formations plus tendres et se terminent généralement dans de larges baies très découpées et parsemées d'îlots. A partir de la Plaine des Lacs, on rencontre une succession de dépressions et de lacs. Les rivières coulant dans cette région présentent un régime hydrologique particulier. Elles rejoignent brutalement la mer par des pentes fortes entre des berges rocheuses (D'après l'Atlas de Nouvelle-Calédonie, 1992).

Starmühlner (1968) a par ailleurs proposé une classification des eaux courantes de Nouvelle-Calédonie en fonction des sous-sols géologiques et de la position géographique. Il distingue ainsi :

1. Les eaux douces de la région à péridotite et à serpentine :
 - Côte Sud-ouest (rivière Dumbéa et affluents, rivière La Coulée)
 - Sud de l'île (eaux courantes dans le maquis serpentineux de la région de Ouénarou, eaux stagnantes dans le maquis serpentineux de la région de Ouénarou, eaux courantes dans le maquis serpentineux de la côte sud-est, eaux courantes en forêt primaire près de Ouénarou (Mont des sources))
 - Île des Pins
2. Les eaux courantes de la région à granites (massif des Grosses Gouttes près de Saint-Louis et la rivière Thy et affluents)
3. Les eaux douces de la région à schistes cristallins et micaschistes
 - Région de Boulouparis-Bourail, Côte Ouest
 - Région de Poya-Nekliai, Côte Ouest
 - Région du col d'Amieu, entre La Foa et Canala
 - Eaux courantes de la région de Balade, Côte est
 - Eaux courantes de la région de Hienghène, Côte est
 - Eaux courantes de la région de Ponérihouen, Côte Est
 - Eaux courantes de la côte Nord, région de Bondé, rivière Diahot et ses affluents
4. Eaux douces de la région calcaire, près de Koumac, côte Nord

La secteur concerné par le projet Goro Nickel se trouve dans le premier groupe, celui des eaux douces de la région à péridotite et à serpentine.

II.1.1.4 La zonation des cours d'eau

Les cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie peuvent être découpés en cinq zones selon l'altitude et la vitesse du courant (Keith *et al.*, 2002 a) :

1. zone des sources au-delà de 800 m d'altitude
2. cours supérieur entre 450 et 800m d'altitude,
3. cours moyen entre 150 et 450m d'altitude,
4. partie basse des cours d'eau entre 50 et 150m d'altitude,
5. cours inférieur en dessous de 50m d'altitude.

Les quatre dernières zones incluent une même sous zonation (D'après Arrignon, 1991) :

- zones calmes (0 à 25cm/s),
- courant moyen (25 à 50cm/s)
- courant rapide (50 à >100cm/s)

Ces cinq zones peuvent être regroupées fonctionnellement en trois zones plus grandes définies en fonction de la pente, de la vitesse moyenne du courant et de la granulométrie du substrat : le cours *supérieur*, le cours *moyen*, le cours *inférieur* (Keith *et al.*, 2002 a)

Ces trois grandes zones sont définies par quelques critères spécifiques :

- *le cours supérieur* est caractérisé par une pente forte (généralement plus de 10%) et donc un courant élevé. Le substrat est le plus souvent composé de très gros blocs issus de la roche mère. La délimitation avec le cours moyen correspond généralement à un accident topographique de type cascade. La distance séparant ce tronçon de l'embouchure est très variable, elle dépend largement des caractéristiques géologiques du bassin versant.
- *le cours moyen* a une pente moyenne général inférieure à 10%. Le fond est formé de galets et de blocs. On peut y rencontrer des fonds sableux dans les portions à faible courant. La longueur de cette zone est fonction de l'origine géologique du bassin versant.
- *Le cours inférieur* correspond à la partie du cours d'eau située dans la plaine littorale, sa longueur est donc le plus souvent réduite surtout dans le nord-est sur les contreforts du mont Panié ; elle est développée en revanche sur la côte ouest. On distingue pour cette zone deux parties bien distinctes : l'estuaire directement soumis aux influences marines et la partie amont où les eaux sont faiblement conductrices. La pente et la vitesse du courant sont nulles ou très faibles, c'est une zone de fortes accumulations. Au sein de l'estuaire, les sédiments sont essentiellement sablo vaseux tandis que dans la partie amont la granulométrie est plus grossière (graviers, galets, blocs). Cette dernière zone n'est pas présente dans tous les cours d'eau. Pour certains, elle s'apparente au cours moyen concernant les vitesses du courant et la granulométrie. Les influences marines y sont alors plus limitées (Keith *et al.*, 2002a).

Les cours d'eau du Sud-est de la Nouvelle-Calédonie et plus précisément de la région de Goro sont caractérisés par des cours supérieurs encaissés, des successions de petites cascades et un parcours en plaine plus court que celui des grandes rivières, notamment celles de la côte Ouest.

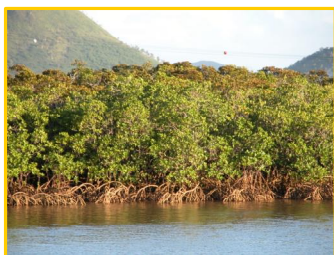
Le tableau 1 résume la zonation des cours d'eau de Nouvelle-Calédonie.

Tableau 1 : Zonation des cours d'eau de Nouvelle-Calédonie

Principales zones	Caractéristiques
Sources	Pente forte, courant élevé, substrat composé de très gros blocs
Cours supérieur	
Cours moyen	Pente et courant moyens, substrat formé de galets et de blocs
Cours inférieur	Pente et vitesse de courant nulles ou très faibles, substrat sablo-vaseux

II.1.2 Les zones humides de Nouvelle-Calédonie

II.1.2.1 Les mangroves



Les mangroves sont les zones humides les plus représentées en Nouvelle Calédonie. Elles couvrent au total une superficie estimée à 20 250 ha et sont plus répandues sur le littoral occidental de la Grande Terre. Elles occupent préférentiellement les sols salés et boueux au niveau de la zone intertidale. Intimement liées avec les écosystèmes récifaux, elles ont un intérêt biologique indiscutable car elles jouent un rôle de nurseries pour certaines espèces de poissons et de crustacés. Elles sont plus répandues sur le littoral occidental de la Grande terre, où les conditions d'habitat sont favorables et où elles occuperaient 79% du littoral, que sur le littoral oriental (14%), où leur extension est limitée au niveau des estuaires et où elles se caractérisent par une diversité plus faible (Gabrié, 1995).

II.1.2.2 Les lacs, les étangs et les marais

La plaine des Lacs, à l'extrémité sud-est de la Grande Terre, est la plus importante zone d'eau douce. Cette région, composée de sols imperméables, inclus deux grands lacs (le Lac en Huit et le Grand Lac), de nombreux petits lacs et étangs et une large zone de marais. C'est un écosystème unique et très fragile contenant un patrimoine naturel d'une valeur exceptionnelle, l'essentiel des espèces sont, en effet, endémiques (Gabrié, 1995).

L'étude de caractérisation des zones humides menée par la Direction des Ressources Naturelles de Nouvelle-Calédonie (ETEC, 2003) propose une typologie adaptée aux zones humides du Territoire. Dix types de zones humides susceptibles d'être rencontrées sur le territoire ont été définis :

1. Eaux marines :

- ZH type 1 : Estuaires (mangrove et arrière de mangrove)
- ZH type 2 : Marais littoraux (mangrove et arrière mangrove)
- ZH type 3 : Marais saumâtre aménagés (bassin aquacole)

2. Eaux courantes :

- ZH type 4 Bordures de cours d'eau (ripisylve)

3. Eaux stagnantes :

- ZH type 5 : Zone humide de bas fond en tête de bassin
- ZH type 6 : Etangs et zones humides ponctuelles (Dolines périodiques)
- ZH type 7 : Plans d'eau et plaine alluviale (Dolines permanentes)
- ZH type 8 : Marais et landes humides de plaines et plateaux
- ZH type 9 : Zone agricole inondable (La Foa, Bourail)
- ZH type 10 : Retenue artificielle (Barrage de Yaté)

II.1.3 La classification des habitats aquatiques

L'habitat aquatique correspond à l'environnement physique conditionnant la vie d'une espèce à un stade donné. Il est généralement décrit par des variables physiques comme la hauteur d'eau, la vitesse moyenne du courant et la granulométrie du substrat (d'après Malavoi, 1989). Les variables descriptives de l'habitat physique du poisson et les différents types d'abris utilisés au quotidien sont schématisés figure 1

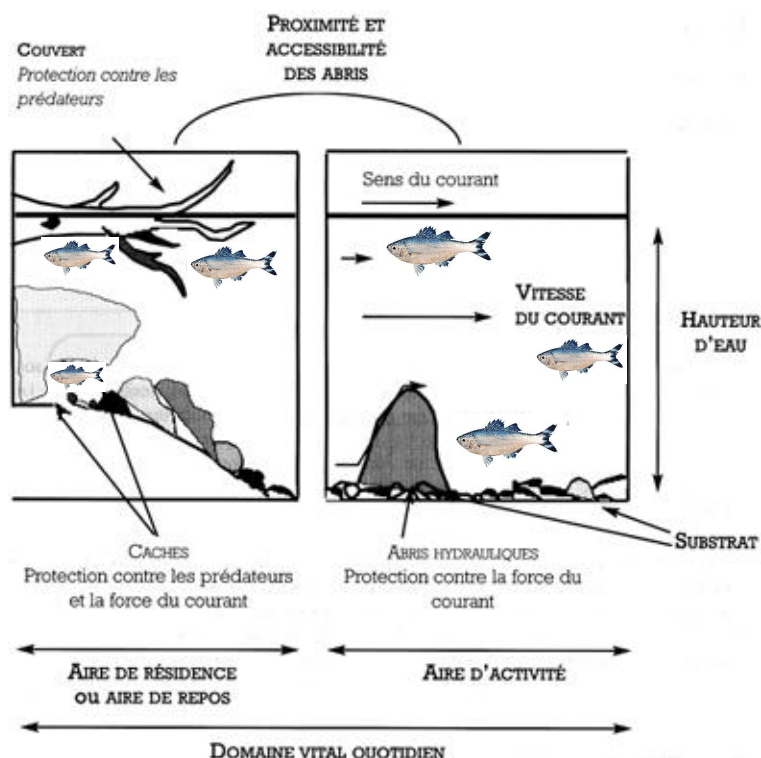


Figure 1 : Les variables descriptives de l'habitat physique du poisson et les différents types d'abris utilisés au quotidien (Thévenet, 1995).

En se basant sur la classification européenne des habitats CORINE-Biotopes (Annexe I) pour les eaux stagnantes, sur la classification de Malavoi (1989) et sur la zonation des cours d'eau proposée par Keith *et al.* (2002a) pour les eaux courantes, on peut classer les habitats aquatiques de Nouvelle-Calédonie en trois grandes catégories (Tableau 2).

Tableau 2 : Classification des habitats aquatiques de Nouvelle-Calédonie

1 - Eaux courantes
• <i>Habitat des cours supérieurs</i> • <i>Habitat des cours moyens</i> • <i>Habitat des cours inférieurs</i> • <i>Habitat des cours d'eau intermittents</i>
2 - Eaux stagnantes saumâtres et salées
3 - Eaux douces stagnantes
• <i>Eaux libres</i> - Eaux oligotrophes pauvres en calcaires, typiques du sud de la Grande Terre - Eaux mésotrophes - Eaux eutrophes (eaux de retenues, mare à bétail) • <i>Galets ou vasières non végétalisés</i> • <i>Communautés à macrophyte</i> • <i>Végétation aquatique flottante ou immergée</i> • <i>Masse d'eau temporaire</i>

II.1.4 La région de Goro Nickel

II.1.4.1 Les principaux bassins versants

Neufs bassins versants caractérisent la région Sud-est de la Nouvelle-Calédonie : Les bassins de la Rivière Bleue, de la Rivière Carénage, de la Rivière Kaoris, de la Rivière Kadji, du Creek de la Baie Nord, de la Rivière Trou Bleu, de la Rivière Kwé, de la rivière Wadjna et de la Rivière Kuébini. Les bassins versant directement concernés par le projet Goro Nickel sont ceux de la Rivière Kwé, du Creek de la Baie Nord et de la rivière Kadji. Le réseau hydrographique principal du Sud-est de la Grande Terre est présenté à la carte 2.

II.1.4.2 Les zones humides

Les dolines, les marais et les lacs sont disséminés sur l'ensemble du plateau de Goro. Ils servent de centre de drainage, en captant l'eau de ruissellement et en facilitant l'accès de petites quantités d'eau de suintement dans le sol altéré sous-jacent. Les lacs les plus profonds reçoivent également l'afflux des eaux souterraines qui coulent dans les systèmes fissurés de la roche mère. Le périmètre Est du bassin versant de la rivière Kwé renferme une chaîne de lac exempts d'embouchures visibles vers le système de drainage avoisinant (Goro Nickel, 2004).

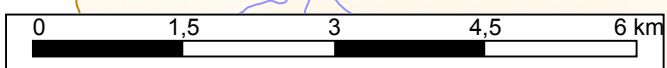
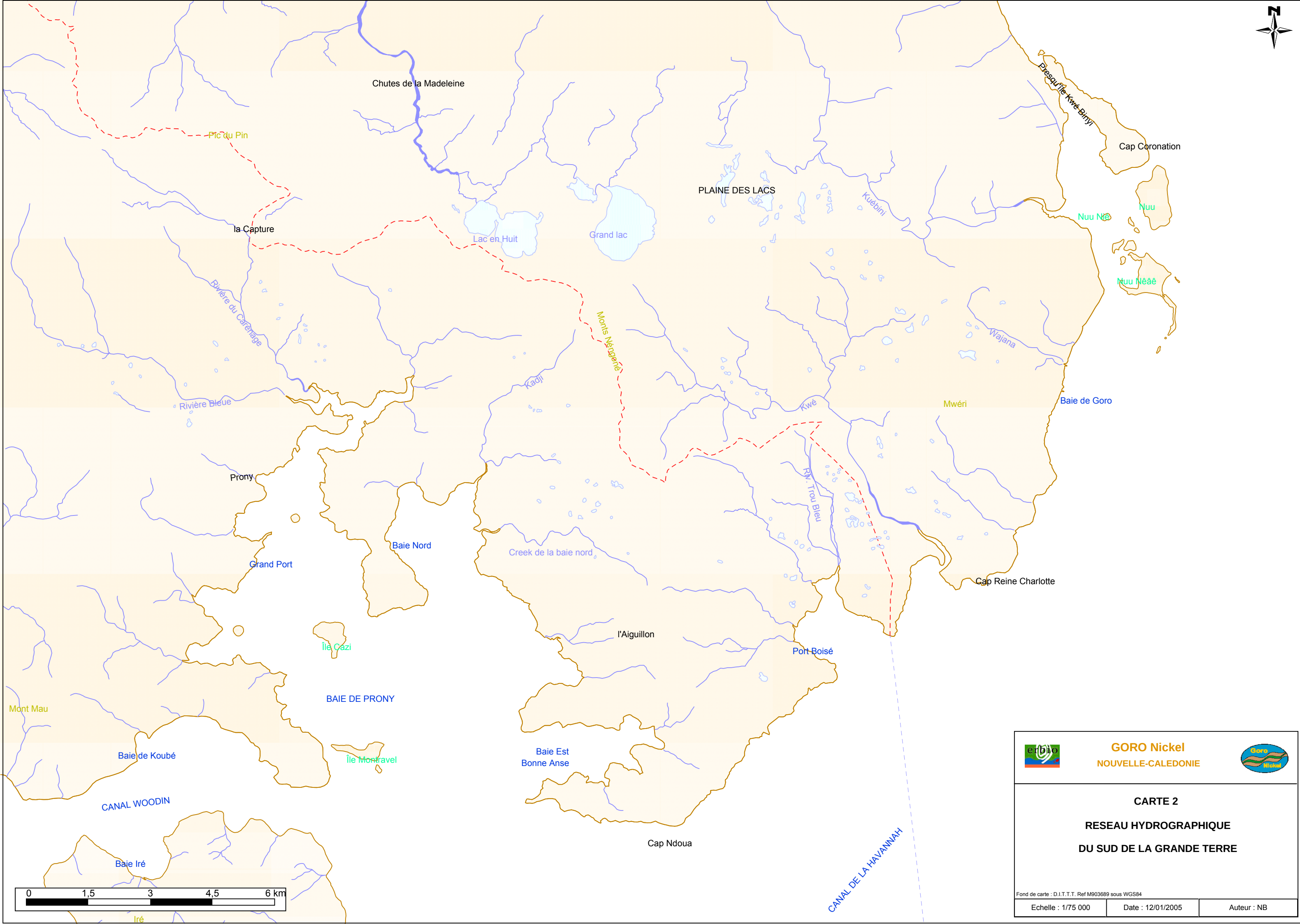
II.1.4.3 La nappe phréatique

Les eaux de surface de chaque bassin versant sont essentiellement confinées dans des crêtes de péridotite imperméables. La nappe phréatique, qui provient des eaux de pluie et dont le filtrage est assuré dans des failles de la cuirasse de fer imperméable, s'écoule sur le terrain en pente dans les zones perméables au dessus de la roche mère. La nappe phréatique du plateau de Goro s'écoule principalement sur le terrain en pente vers la zone de confluence de la rivière Kwé. La nappe phréatique du Creek de la Baie Nord et des bassins versants de Kadji n'a pas fait l'objet d'études. Par contre, il est probable que la nappe phréatique de ces zones se comporte de façon similaire à celle des bassins avoisinants. On croit que certaines de ces eaux se déplacent entre les bassins dans de profonds systèmes fissurés de la roche mère de type péridotite. Des écoulements ont été enregistrés dans la péridotite exposée vers les rivières et les lacs plus profonds de la région. Le degré de contribution de la nappe phréatique au système des rivières Kwé n'a pas été quantifié, bien qu'il est estimé qu'environ 90% des eaux de pluie sont captées par le drainage superficiel ou par l'écoulement de la nappe phréatique peu profonde (au-dessous de la cuirasse de fer). Il est admis que les nappes souterraines s'alimentent rapidement parallèlement aux augmentations des précipitations et qu'elles s'appauvrissent rapidement par temps de sécheresse, ce qui indique une grande variabilité de l'écoulement de base (Goro Nickel, 2004).

II.1.4.4 La qualité physico-chimique de l'eau

Les eaux des lacs et des rivières du grand Sud affichent un pH presque neutre, une capacité tampon, une conductivité, une turbidité et des concentrations d'éléments nutritifs faibles, sans compter des niveaux élevés de plusieurs métaux – le chrome, le cobalt, le magnésium, le manganèse, le nickel et le sodium. Les fortes concentrations de certains métaux indiquent une minéralisation des formations rocheuses et des sols locaux. Un échantillonnage restreint de la nappe phréatique au moyen de trois piézomètres¹ près du site minier a donné des résultats semblables. Les incendies dans le bassin versant de la rivière Kwé sont à l'origine d'une érosion notable des berges sans occasionner de niveaux élevés permanents de solides en suspension (Goro Nickel, 2004).

¹ Dispositif permettant de mesurer la hauteur de la surface de l'eau, dénommée niveau piézométrique, donc la pression hydrostatique d'une nappe phréatique en un point donné situé à la surface du réservoir aquifère (Ramade, 1998)





GORO Nickel
NOUVELLE-CALEDONIE



CARTE 2
RESEAU HYDROGRAPHIQUE
DU SUD DE LA GRANDE TERRE

Fond de carte : D.I.T.T.T. Ref M903689 sous WGS84

Echelle : 1/75 000	Date : 12/01/2005	Auteur : NB
--------------------	-------------------	-------------

II.1.4.5 Les habitats aquatiques

Les milieux lotiques (eaux courantes)

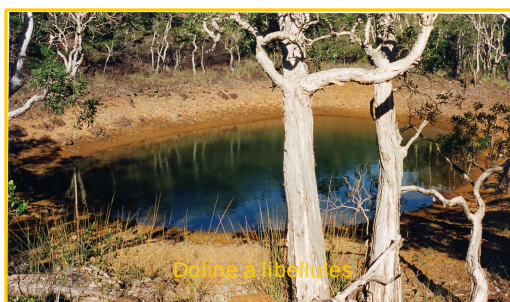
Les rivières du secteur de Goro sont typiques des milieux sur péridotites. La végétation rivulaire est un maquis minier souvent éparse ne formant pas de réel couvert végétal. Les coteaux sont souvent traversés par des pistes qui déstabilisent les terrains entraînant une forte charge de matériaux terrigènes lors des épisodes pluvieux. Le substrat est essentiellement constitué de la roche mère, de blocs et de galets le plus souvent colmatés par les apports terrigènes, précédemment évoqués, formant un limon rouge collant.

Les peuplements sont caractéristiques des cours d'eau sur péridotites. La densité piscicole est généralement faible à moyenne à l'échelle des cours d'eau de Nouvelle-Calédonie. La densité de faune carcinologique est moyenne. La richesse faunistique et les taux d'endémicité sont cependant, globalement, très élevés : 70% pour les crustacés décapodes et 20% pour les poissons contre respectivement 37% et 15% pour toute la Nouvelle-Calédonie (Marquet *et al.*, 2003).

Les différents habitats d'eau douce rencontrés sur les rivières Kuébini, Wadjana, Kwé, Trou bleu, Carénage et Creek de la Baie du Nord sont illustrés par les tableaux 3 et 4.

Milieux lenticques (eaux calmes)

Dolines et plans d'eau stagnants permanents



Ces milieux présentent une hétérogénéité importante, néanmoins il est possible d'établir une caractérisation générale. Ce sont des trous d'eau plus ou moins étendus (de 50 à 5000m²) d'une profondeur comprise entre 4 et 6 mètres en période de hautes eaux. La végétation rivulaire est une forêt primaire, ou un maquis minier, assez dense où le niaoulis est bien représenté en raison de sa facilité de développement dans les zones humides. Le fond de ces plans d'eau est souvent

vaseux avec de nombreux débris végétaux et des hélophytes (plantes adaptées aux inondations et exondations cycliques tels que les *Ericaulon*). La qualité physico-chimique de ces milieux révèle principalement une pauvreté en calcium. La température de l'eau observe une amplitude de l'ordre d'une douzaine de degré (19 à 31°).

Les communautés de macroinvertébrés se distinguent en deux principaux groupes (Pöllabauer & Bargier, 2004) :

- Les macroinvertébrés benthiques, situés sur le fond, comprennent des groupes tels que les larves d'Odonates (larves de libellules) marchant sur le fond, les mollusques, trichoptères, des vers, etc..
- Les macroinvertébrés pélagiques et de surface tels que les hétéroptères (punaises aquatiques), les coléoptères ou encore les acariens qui restent une partie du temps en surface ou font des va-et-vient entre la surface et le fond.

A noter que la zone rivulaire est souvent bien peuplée en raison de la qualité de support et de l'intérêt pour la nutrition quelle représente (interface substrat-air-eau-végétation où la prédation est favorisée) (Pöllabauer & Bargier, 2004).

Souvent ces milieux sont colonisés par l'espèce de grenouille introduite *Litorina aurea*, dont les têtards se trouvent en nombre parfois très important (Pöllabauer & Bargier, 2004).

Tableau 3 : Qualité des habitats des principales rivières du secteur de Goro (Erbio, 2000).

QUALITE DE L'HABITAT		Faciès lotique		Faciès lentique				
		Eaux courantes rapides	Eaux courantes lentes	Plus d'un mètre de profondeur		Moins d'un mètre de profondeur		
		Blocs de roche	Gravier, sable	Sable, vase	Blocs de roche	Bois, racines, végétaux	Feuilles, détritux	Gravier, sable
		%	%	%	%	%	%	%
Kuébini	FW1	20	20	25	20	3	2	10
	FW11	30	10	5	30	3	2	20
	FW12	50	20		15	5		10
Wadjana	FW6	60	15	5	5	2	2	11
	FW13	25	30	20		5		20
Kwé principale	FW17	50	20	5	15			10
	FW3	35	35	10	10			10
	FW14	15	30	20	10	10	5	10
Kwé Ouest	FW4	20		35	25	10		10
Kwé Nord	FW15	40	20	10	5	5	5	15
	FW16	50	20	5	5			20
Trou bleu	FW2	55	10	5	20	5	5	
Carénage	FWR1	5	25	25		20		25
	FWR2	40	25	10		10	5	10
Creek de la Baie Nord	FW8	35	10	10	5	15	5	20

Qualité d'habitat :		Excellent		Bon		Moyen		Mauvais
----------------------------	--	-----------	--	-----	--	-------	--	---------

Tableau 4 : Principaux habitats des poissons en saison sèche pour les six principales rivières du secteur de Goro (Erbio, 2000).

CATEGORIE TROPHIQUE	TRONÇON PRINCIPAL DE LA RIVIERE				LIT MAJEUR, MOUILLE, EMBOUCHURE		
	Surface	Fond : Boue, vase	Fond : Sable, gravier	Fond : Blocs de roche	Surface	Fond	Zone végétalisée
Détritivores		<i>Cestraeus plicatilis</i> , <i>Cestraeus oxyrhyncus</i>					
Herbivores					<i>Microphis brachyurus</i> (?)		
Zooplancton					<i>Parioglossus neocaledonicus</i>		
Consommateurs d'organismes flottants et de débris végétaux	<i>Kuhlia rupestris</i>			<i>Sicyopterus sarasini</i>			
Microprédateurs (insectes, petites crevettes, crabes, mollusques)	<i>Kuhlia rupestris</i>		<i>Anguilla</i> juvénile (100 à 300 mm)	<i>Protogobius attiti</i>	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>		<i>Periophthalmus argentilineatus</i>
Macroprédateurs (crustacés et poissons)	<i>Anguilla</i> (3 espèces)	<i>Ophieleotris</i> nsp.	<i>Eleotris melanosoma</i> <i>Ophieleotris</i> sp.			<i>Ophieleotris aporos</i>	<i>Eleotris melanosoma</i>
Piscivores			<i>Anguilla</i> adulte (>500 mm)		<i>Carcharhinus leucas</i>		
Carnivores (insectes de surface)				<i>Sicyopterus sarasini</i>		<i>Stenogobius</i> <i>Redigobius</i> (?)	

Dolines périodiques



A contrario, les dolines périodiques, en eau lors des fortes précipitations, sont caractéristiques des milieux temporaires. Leur surface peut-être bien plus étendue que celle des dolines permanentes avec une profondeur ne dépassant pas les 2 mètres 50 en pleine eau, à l'exception du « Trou » qui présente une profondeur de 25m. La végétation rivulaire est identique à celle des dolines permanentes mais les espèces arbustives

tolérantes aux inondations peuvent se développer à même le lit (les niaoulis essentiellement) donnant ce caractère occasionnel de forêt immergée. Le fond est bien moins vaseux (car soumis à la dessiccation) et occupé par de nombreux héliophytes¹.

Du fait de la faible profondeur, l'amplitude thermique est bien plus importante avec un rafraîchissement plus rapide et un réchauffement important, accéléré par la baisse de niveau, aboutissant à l'assèchement complet.

L'impossibilité pour la plupart des macroinvertébrés d'effectuer un cycle biologique complet restreint la richesse spécifique aux espèces les plus mobiles ou adaptées aux milieux temporaires. C'est le cas du Conchostracé *Lynceus nsp.* qui se développe très rapidement, notamment dans une doline inventoriée à ce jour, et supporte plusieurs années de sécheresse avant de reprendre son cycle vital. Il vit à proximité des touffes d'héliophytes immergés.

Les autres taxons présents, mollusques (genre *Physastra* et larves de libellules) observent la même répartition que dans les dolines permanentes.

Les grenouilles *Litorina aurea* sont encore souvent présentes.

Le tableau 5 illustre la qualité d'habitat rencontrée sur quelques dolines du secteur de Goro.

¹ végétation sur les berges tantôt inondées, tantôt exondées mais toujours gorgées d'eau

Tableau 5 : Qualité d'habitat rencontrée sur trois dolines du secteur de Goro (Erbio 2000).

DOLINE N°	DESCRIPTION DES HABITATS			FAUNE	QUALITE DE L'HABITAT
	Fond	Eau	Végétation aquatique		
FW 30	Sable rouge, cailloux, vase	Chenal (environ 5m de profondeur) reliant deux mouilles d'eau claire de couleur bleue à verte L'eau semble être très pauvre en calcium ou acide : la plupart des coquilles de mollusques (qui sont habituellement épaisses) sont molles ou translucides	1 espèce de spirale <i>Cyperaceae</i> (3m de haut) sous l'eau 1 autre espèce de <i>Cyperaceae</i> plus petite sur les bords <i>Ericaulon</i> abondant sur les bords	Faune invertébrée abondante - Arachnides : acariens - Insectes : Odonates (larves), Hemiptères (3 espèces de <i>Notonectidae</i> , 1 espèce de <i>Gerridae</i>), Coleoptères (1 espèce de <i>Dystiscidae</i>) - Mollusques : Gastéropodes (<i>Melanopsis frustulum</i>) - Crustacés : aucun - Poissons : aucun	Excellent (excepté peut-être la physicochimie de l'eau)
FW 19 « Le Trou »	Blocs de roche noire, pierres, cailloux	Profondeur 15-25 m, eaux sombres et turbides	Aucune	- Annélides : Oligochètes (1specimen) - Insectes : Odonates (larve) ¹	Mauvais
FW ? (doline au Sud-est du « Trou »)	Vase, argile dans la partie médiane, sable et gravier près de la route	Profondeur d'environ 2 à 4 m, un petit chenal plus profond dans la partie médiane, eau claire de couleur jaunâtre à verdâtre, parfois turbide	<i>Cyperaceae</i> abondante, occupant largement les bords de rive, racines et plantes mortes submergées également abondantes	- Annélides : oligochètes - Insectes : Odonates (larves), Hémiptères (2 espèces de <i>Notonectidae</i> , 2 espèces de <i>Gerridae</i>), Coléoptères (3 espèces de <i>Dystiscidae</i>) - Poissons : Anguilles (<i>Anguilla reinhardtii</i> , <i>A. obscura</i> ?)	Bon

¹ les larves d'odonates sont des prédateurs, elles peuvent se nourrir et survivre dans ce biotope mais rien d'autre n'a été observé

DOLINE N°	DESCRIPTION DES HABITATS			FAUNE	QUALITE DE L'HABITAT
	Fond	Eau	Végétation aquatique		
FW 24	Un seul trou profond dans la partie médiane, 2m de diamètre, avec une plus grande cavité plus profonde d'un diamètre de 5m, pierres sombres, graviers et sable, quelque places avec de la vase	Eau claire de couleur bleue à verte, très froide en profondeur	Végétation riche <i>Cyperaceae</i> <i>Ericaulon sp.</i> <i>Drosera sp.</i>	Faune invertébrée abondante - Insectes : Odonates (larves), Hemiptères (3 espèces de <i>Notonectidae</i>, 1 espèce de <i>Gerridae</i>), Coleoptères (1 espèce de <i>Dystiscidae</i>) - Mollusques : Gastéropodes (<i>Physidae</i>)	Excellent
FW 25	Sable, gravier le long des rives, fond recouvert de <i>Cyperaceae</i> , d'arbres, de bois mort, de racine et de matériel végétal	Eau claire de couleur verte à jaunâtre, sombre vers le fond	Végétation riche Grand Niaouli immergés dans 2-3m d'eau, <i>Cyperaceae</i> (plus de 3m de haut), <i>Ericaulon sp.</i> , <i>Drosera sp.</i>	Faune abondante et très originale - Insectes : Odonates (larves), Hemiptères (2 espèces de <i>Notonectidae</i>, 2 espèces de <i>Gerridae</i>), Coléoptères 3 espèces de <i>Dystiscidae</i>) - Mollusques : Gastéropodes (<i>Physidae</i>) - Crustacés : Branchipôdes (<i>Conchostraca</i>)	Excellent

II.2. STRESS SUPPORTES PAR LES ESPECES AQUATIQUES

Le stress est le résultat d'une inadéquation du milieu de vie des espèces aquatiques avec leurs habitudes et leur morphologie. Les principales causes du stress sont : une mauvaise qualité de l'eau (pH, température, dureté, nitrite, nitrates, salinité, pollution, brusques variations), ou un mauvais environnement (espace libre, alimentation, milieu de vie, colocataires...). Un stress permanent diminue notamment l'espérance de vie des poissons et les rend susceptibles de tomber malade plus facilement. Un poisson stressé évitera de se reproduire. Les symptômes sont : mauvaise alimentation, respiration en surface, timidité, blessures, maladies.

II.2.1 Facteurs physico-chimiques de l'eau

II.2.1.1 Température

La température est un facteur écologique majeur dans les biotopes aquatiques car elle conditionne la nature des communautés qui les peuplent ainsi que les caractères de leur développement et de la croissance des espèces qui les composent. La plupart des organismes aquatiques, adaptés à un milieu dont les variations de températures sont faibles, ne supportent pas une brusque élévation de cette dernière. En rivière, on considère qu'une variation de température supérieure à 10°C est insupportable pour l'ichtyofaune même pour les espèces les moins sténothermes¹ (Ramade, 1998). Le tableau 6 présente les températures de l'eau provoquant une mortalité de 50% (LD 50) chez le Black-bass et chez la carpe en fonction de la température d'acclimatation préalable. Les LD 50 ont été obtenues pour des temps d'action de 15h à 24h selon les auteurs. (D'après Charlon, 1968, dans Arrignon, 1991).

Tableau 6 : Températures de l'eau provoquant une mortalité de 50% (LD 50) chez le Black-bass et chez la carpe en fonction de la température d'acclimatation préalable (D'après Charlon, 1968, dans Arrignon, 1991).

Espèce	Température d'acclimatation	LD 50 (°C)	Références
Black-bass (Achigan à grande bouche)	20°-21° 20° 20°	28°9 31°8 32°5	LD 50 : 24h Black LD 50 : ? Hart LD 50 : ? Hart
<i>Micropterus salmoides</i>	25° 26°7 27°2 30°1 30°4	37°2 37°8-38°9 36°7-37°2 36° 35°2	LD 50 : 21h Trembley LD 50 : 18h Trembley LD 50 : 15h Trembley LD 50 : 24h Hathaway LD 50 : 24h Hathaway
Carpe <i>Cyprinus carpio</i>	20° 26°	31°-34° 35°7	LD 50 : 24h Black LD 50 : 24h Black

D'autre part, chaque espèce vivante a son préférendum thermique qui correspond à la zone de température où l'espèce se tient le plus facilement et hors de laquelle elle est amenée à disparaître. Par exemple, la limite thermique inférieure du Tilapia (*Oreochromis mossambicus*), une espèce tropicale introduite en Nouvelle-Calédonie, se situe à 11°C, la limite supérieure à 40 °C (Arrignon, 1991).

L'augmentation de la température peut donc favoriser le développement de certaines espèces de poissons, par exemple les Tilapias, mais peut représenter une limite de tolérance pour d'autres espèces aquicoles. Le danger, à terme, est un déséquilibre

¹ ce dit d'une espèce ayant un faible intervalle de tolérance pour la température

écologique occasionné par le développement d'une espèce introduite au détriment des espèces calédonniennes. Cependant, nous n'avons actuellement aucune connaissance sur les limites thermiques des espèces de poissons endémiques. Il est donc difficile de mesurer l'impact d'une élévation de la température de l'eau sur les communautés ichthyennes calédonniennes. Nous savons cependant, d'après les études menées par notre bureau d'études, que la température de l'eau des cours d'eau du territoire peut monter jusqu'à 34°C.

Il faut finalement ajouté que la température de l'eau a un effet sur le taux d'oxygène dissous dans l'eau. En effet, à saturation, une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène qu'une eau chaude. Elle a également un impact sur le métabolisme des organismes aquatiques qui est plus actif à des températures élevées et consomme donc plus d'oxygène. Enfin, dans certaines conditions, quand les températures sont élevées, les sédiments peuvent subir des anoxies susceptibles d'entraîner, en modifiant leur potentiel redox, la libération d'éléments adsorbés (certains métaux lourds ou xénobiotiques organiques) sous forme toxique et absorbable.

II.2.1.2 pH

D'une manière générale, les eaux acides présentent un nombre plus réduit d'espèces (diminution de la biodiversité) et des populations de macroinvertébrés moins abondantes que les eaux neutres.

L'anoxie¹ (cf exemple d'effet direct ci-dessous) des eaux commence vers pH 4,2 et presque aucune espèce ne survit à des pH inférieurs à 5. Les rares espèces de poissons supportant une eau acide avec un pH entre 4 et 5 sont les anguilles (Klee, 1991). Beaucoup d'espèces invertébrées qui contiennent des concentrations élevées de calcium, telles que les mollusques, les crustacés et les insectes, sont très sensibles aux niveaux de pH et sont parmi les premiers à disparaître pendant l'acidification des eaux.

Tableau 7 : Limites de tolérances des animaux aquatiques (d'après Arrignon, 1991)

pH	Tolérances
pH < 5,0	Limite inférieure pour la survie de la plupart des espèces aquicoles
5,0 < pH < 9,0	Limites tolérables pour la plupart des espèces
6,0 < pH < 7,2	Zone optimale pour la reproduction de la plupart des espèces
7,5 < pH < 8,5	Zone optimale pour la productivité de plancton
pH > 9,0	Seuil létal de nombreuses espèces de poissons

Les effets directs de l'acidification sur les poissons incluent une mortalité importante, des perturbations des taux de croissance, de la reproduction et des dommages chroniques aux organes et aux tissus. Les effets directs du pH qui sont observés sont généralement les plus dévastateurs. Les effets indirects de l'acidification sont la dégradation de l'habitat des poissons et des modifications des relations entre prédateurs et proies (interruption de la chaîne alimentaire). (Earle et al, 1998).

Exemple d'effet direct :

L'acidité augmente la perméabilité des branchies des poissons à l'eau ce qui perturbe gravement leur fonctionnement. Les pH faibles causent des perturbations de l'équilibre en ions chlorure et sodium du sang des animaux aquatiques (entrée des ions hydrogène et sortie des ions sodium dans les cellules), ce qui, avec la perte d'oxygène dans les tissus, est la première cause de mortalité des poissons.

¹ diminution de l'apport d'oxygène aux tissus par unité de temps (Blouin & Bergeron, 1997)

Exemple d'effet indirect :

Les pH faibles inhibent la croissance des bactéries qui participent à la décomposition des feuilles tombées dans l'eau et modifient ainsi la quantité de nourriture disponible pour d'autres espèces.

Le pH de l'eau des rivières du secteur de Goro Nickel se situe entre 6,0 et 8,0 (d'après Pöllabauer, 1999a et Rescan, 2000), soit dans les zones optimales pour la reproduction de la plupart des espèces.

II.2.1.3 Oxygène

En milieu aquatique, l'oxygène est un élément essentiel pour les organismes vivants. La concentration en oxygène dans l'eau est la résultante de nombreux processus. Avant tout, la capacité de dissolution de l'oxygène est fonction de la température de l'eau. À saturation, une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène qu'une eau chaude.

Les concentrations en oxygène ne demeurent cependant pas nécessairement à leur point de saturation; elles subissent régulièrement des modifications occasionnées par les activités biologiques. La photosynthèse des végétaux produit de l'oxygène, si bien qu'en milieu productif (importante production primaire), les concentrations d'oxygène atteignent, pendant le jour, des valeurs bien au-dessus des taux de saturation dictés par la température.

La respiration est la principale cause de diminution de l'oxygène, qu'il s'agisse de la respiration des animaux (poissons, insectes, etc.) ou des plantes pendant la nuit, ou encore de la respiration bactérienne associée au processus de décomposition de la matière organique. Ce dernier phénomène peut devenir particulièrement dommageable en milieu productif; l'abondance de matière organique d'origine animale ou végétale, stimulée par la grande disponibilité de nutriments, occasionne alors une activité bactérienne importante.

Il faut finalement ajouter que dans une rivière, la variation des concentrations en oxygène causée par la photosynthèse et la respiration est principalement rencontrée en zones calmes ou profondes. En surface et en zone de rapides, le contact eau-atmosphère a tôt fait de ramener les concentrations en oxygène aux valeurs de saturation dictées par la température.

II.2.1.4 Matières en suspension

Il s'agit de l'ensemble des particules minérales et (ou) organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Les matières en suspension comportent souvent dans les cours d'eau des particules de nature argilo-humique provenant de l'érosion des sols, mais également bien d'autres constituants, en particulier d'origine biologique. Elles représentent une cause essentielle de turbidité de l'eau. (Ramade, 1998)

Les matières en suspension peuvent causer une abrasion des branchies et affecter la respiration des poissons. Elles peuvent également, lorsqu'elles se déposent au fond, colmater le lit des ruisseaux et priver ainsi d'apport en oxygène les œufs des poissons. Une hausse des matières en suspension peut aussi entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aura pour effet de réduire la qualité de l'habitat.

II.2.1.5 Nutriments

La particularité des eaux douces en Nouvelle-Calédonie réside plus dans leur composition inhabituelle que dans leur pauvreté générale en sels dissous (Weninger, 1968). Des éléments indispensables à la vie comme le calcium, le potassium et le phosphore ne se

rencontrent qu'en quantité très faible, mais sont également presque inexistants dans les roches (sauf quelques couches calcaires). Par contre leur teneur en magnésium est anormalement élevée, particulièrement dans la région à péridotite et à serpentine du sud de la Grande Terre.

Cette faible disponibilité des nutriments limite la production primaire et par conséquent la vie aquatique qui en dépend.

II.2.1.6 Métaux lourds

Dans les écosystèmes aquatiques, la biodisponibilité des métaux repose sur leur charge mais aussi sur les caractéristiques chimiques, biologiques et hydrogéologiques de l'eau dans laquelle ils sont déversés. Par ailleurs, la présence simultanée de plusieurs métaux peut engendrer une toxicité supérieure à celle de chaque métal séparé. Par exemple, le zinc, le cadmium et le cuivre sont toxiques aux faibles pH et agissent en synergie pour inhiber la croissance des algues et affecter les poissons (Earle *et al.* , 1998)

Ainsi, les importantes concentrations de métaux et de colloïdes (Fe, Al, Zn, Cu) dans les eaux causent de sévères altérations des communautés d'invertébrés benthiques. Les métaux se concentrent à la fois dans les sédiments et dans les biofilms (ensemble de micro-organismes et de leurs sécrétions présents à la surface d'un matériau). On constate qu'il existe une forte corrélation entre les concentrations métalliques dans les échantillons de périphyton (algues, microorganismes, dépôts minéraux) et les concentrations dans les sédiments fins. Or, les invertébrés benthiques sont une voie importante de transfert des métaux depuis les sédiments et les biofilms vers les poissons (site Internet AMLI.USGS. Animas River - Colorado Etats-Unis)

Les rivières du secteur de Goro Nickel sont caractéristiques des régions à péridotite et présentent naturellement des concentrations très élevées en certains métaux, spécialement le chrome, le cobalt, le magnésium, le manganèse et le nickel (d'après Rescan, 2000).

Il convient enfin de rappeler, les effets plus précis du cuivre et du Zinc sur la vie aquatique. En effet, dans le cadre du projet d'extraction minière de Goro Nickel, ces métaux lourds sont susceptibles d'occasionner des perturbations graves aux écosystèmes aquatiques de la zone d'impact, en particulier celui de la rivière Kwé (SNC-Lavalin, 1997).

Le cuivre

L'effet du cuivre sur le métabolisme a été plus étudié que celui des autres produits chimiques. Il cause une diminution générale du métabolisme, notamment la croissance (Heath, 1987, dans SNC-Lavalin, 1997) mais peut également diminuer l'alimentation. Il stimule la locomotion à faible concentration.

Le cuivre a un impact important sur l'osmorégulation des poissons d'eau douce, même en dessous d'une exposition chronique au polluant. C'est probablement la première cause de mortalité chez les poissons d'eau douce exposés au cuivre. Les poissons d'eau de mer ont, en général, une plus grande tolérance.

Une augmentation de la salinité et de la dureté protège le poisson face à l'empoisonnement au Cu ; toutefois, le pH, l'alcalinité, la température, la taille du poisson, etc., jouent aussi des rôles importants. Généralement, plus la dureté, l'alcalinité, la salinité, le pH et la taille du poisson sont élevés, plus le poisson est résistant au Cu (Strenson, 1991, dans SNC-Lavalin, 1997). La température produit des effets complexes, mais, en général, les températures élevées augmentent la sensibilité du poisson au Cu.

Le Cu peut induire des modifications histologiques dans les branchies, le foie où le Cu se concentre préférentiellement (Heath, 1987, dans SNC-Lavalin, 1997) et les tissus musculaires. On remarque des effets sur la reproduction à de faibles niveaux de Cu, comme le blocage du frai, la réduction du nombre d'œufs produits par les femelles, des anomalies chez les alevins, une survie moins grande chez les jeunes, etc. Des taux de Cu plus élevés que 4 ppb peuvent influencer sévèrement la migration et d'autres comportements (Strenson, 1991, dans SNC-Lavalin, 1997).

Le Zinc

Le zinc est un élément vital, mais il peut être très toxique pour la vie aquatique, particulièrement pour les poissons. Chez le poisson, les accumulations de Zn se produisent dans les viscères, les gonades et le cerveau. Des effets adverses significatifs du Zn sur la croissance, la survie et la reproduction d'espèces sensibles de poissons ont lieu à des concentrations dans l'eau entre 10 et 25 µg/l. Les espèces de poissons d'eau douce sont plus sensibles au Zn que les espèces d'eau salée. Les embryons et les larves sont les stades de développement les plus sensibles au Zn. Les effets sont létaux ou sous-létaux pour la majorité des espèces étudiées à des concentrations variant entre 50 et 235 µg/l. Des changements de comportements, comme l'évitement, apparaissent à des concentrations aussi faibles que 5,6 µg/l (Eisler, 1993, dans SNC-Lavalin, 1997). Le Zn est reconnu pour causer des dommages histologiques à l'épithélium des branchies. Chez certaines espèces de poisson, la production d'œufs est diminuée sévèrement par la présence du Zn à des concentrations qui ont des effets sur les œufs, les alevins ou les adultes. Le Zn peut avoir des effets histopathologiques sur les testicules et les ovaires (Heath, 1987, dans SNC-Lavalin, 1997).

L'empoisonnement par le Zn est plus risqué à haute température, étant donné l'augmentation du métabolisme. L'effet est cependant relié à la dureté de l'eau et au pH. Pour une quantité de Zn donnée, une température constante est moins létale qu'une température variant rapidement. Par ailleurs, selon des études sur la truite, plus l'eau est dure et acide, moins le Zn est toxique. Pour une dureté constante, le Zn est plus toxique à des pH élevés, selon certaines études. Selon d'autres, il est plus toxique à des pH bas. La sensibilité au Zn diminue avec l'âge, du moins dans les premiers stades de développement, avant l'âge adulte. Des basses valeurs en oxygène diminuent la tolérance au Zn. Pour plusieurs espèces de poissons, les mâles sont plus susceptibles au Zn que les femelles. Les risques d'intoxication au Zn sont plus élevés dans une eau non calcaire que dans une eau dure (Strenson, 1991, dans SNC-Lavalin, 1997).

La majorité du Zn introduit dans un milieu aquatique se retrouve dans les sédiments. Il peut être relargué dans des conditions de forte concentration en oxygène dissous, de basse salinité et de bas pH.

II.2.2 Stress biologiques

II.2.2.1 La disponibilité des nutriments

Voir II.2.1.5

II.2.2.2 Les migrations

La migration des espèces de poissons migratrices est régie en partie par des facteurs externes tels que l'influence de la saison, les conditions météorologiques, crues, cycles lunaires (D'après Arrignon, 1991). Dans le cas de l'anguille, il a été montré que la migration dépendait de facteurs externes tels que l'obscurité, le courant d'eau, l'état électrique ou magnétique de l'atmosphère. La migration de plusieurs espèces de poissons dépend

notamment du débit enregistré au cours des saisons. D'une manière générale, les poissons entament leur migration lors de condition de débit élevé.

Cette dépendance vis-à-vis des conditions externes peut occasionner un stress supplémentaire pour les espèces migratrices en particulier lors d'épisodes météorologiques extrêmes (cyclones, crues, sécheresse). On peut également penser que toute modification physique ou chimique de leur habitat peut avoir des répercussions sur leur cycle migratoire.

II.2.2.3 Les espèces introduites

Les écosystèmes insulaires sont réputés pour leur grande vulnérabilité aux perturbations de toute nature, et particulièrement aux introductions d'espèces animales et végétales qui constituent l'un des éléments majeurs des extinctions (Gargominy et *al.*, 1996). La Nouvelle-Calédonie n'a pas échappé à ce fléau et de vastes espaces de cours d'eau sont aujourd'hui dominés ou pénétrés par des espèces exogènes, résultat d'introductions volontaires ou accidentelles.

L'impact de ces introductions sur l'écosystème aquatique est perceptible à plusieurs niveaux :

- la grande plasticité des espèces introduites (forte prolificité, développement et croissance rapide, robustesse, tolérance aux variations de température et de caractéristiques et qualité de l'eau) se traduit par un envahissement des cours d'eau par ces espèces;
- une compétition aiguë entre espèces introduites et autochtones existe pour la ressource alimentaire et l'habitat;
- des réactions biologiques apparaissent suite à cette compétition (ralentissement de la croissance des espèces indigènes, raréfaction...).

Au total, dix espèces introduites de poissons sont encore présentes :

- deux espèces de Tilapias *Oreochromis mossambicus* et *Sarotherodon occidentalis*;
- le black-bass ou l'achigan à grande bouche *Micropterus salmoides*;
- la carpe japonaise *Cyprinus carpio*;
- le poisson-million *Poecilia reticulata*;
- le poisson porte-épée *Xiphophorus hellerii*;
- *Gambusia affinis*
- le platy *Xiphophorus maculatus*.
- Le poisson rouge *Carassius auratus*
- Le gourami perlé *Trichogaster pectoralis*

On peut également compléter la liste des espèces introduites avec le nénuphar, la jacinthe d'eau, la grenouille (*Litorina aurea*), la tortue de Floride et les parasites introduits via ces espèces.

II.2.3 Stress lié aux conditions météorologiques

II.2.3.1 Pluies, crues

La puissance des crues liées aux pluies tropicales torrentielles et aux cyclones tropicaux entraînent indéniablement des modifications des habitats aquatiques. Il est difficile de mesurer l'impact de ces phénomènes sur les communautés de poissons.

Une étude menée par le Conseil supérieur de la Pêche sur les rivières cévenoles soumises régulièrement à des régimes sévères de crues montrent que les poissons présents dans ces rivières se retrouvent dans les mêmes quantités et proportions après les crues. Les poissons semblent adaptés à ces conditions particulières; ils trouvent un abri lors des montées d'eau et reviennent dans le cours de la rivière à la décrue. Les conséquences sur la petite faune et le régime alimentaire des poissons n'ont, en revanche, pas été étudiées (CSP, 2003).

Une autre étude menée sur le bassin de l'Ortolo en Corse après les crues violentes de novembre 1993 et février 1996 a cependant montré que la recolonisation du fleuve demeurait lente. Il semblerait que la succession des crues empêche une reconstitution normale des communautés de poissons. Les frayères sont bouleversées, les alevins entraînés. Les populations peuvent théoriquement se reconstituer, à condition toutefois que de nouvelles perturbations ne se produisent pas (d'après CSP, 2003).

Il apparaît cependant que l'impact des crues est d'autant plus élevé que les milieux sont en mauvais état et les populations déjà malmenées par d'autres perturbations (CSP, 2003).

II.2.3.2 Sécheresse

Les épisodes de sécheresse peuvent avoir de lourdes conséquences sur les milieux aquatiques. Les principaux effets écologiques sur les rivières sont les suivants:

- Dégradation de la qualité de l'eau. Les faibles quantités d'eau dans les eaux réceptrices en plaine entraînent une dilution réduite des pollutions. Des concentrations accrues de bactéries et de substances nuisibles ou nutritives peuvent en résulter, surtout dans les petites rivières et les torrents.
- Dégradation et diminution des habitats aquatiques. Les bas niveaux d'eau menacent la qualité des habitats des poissons en réduisant notamment les superficies des frayères et leur accès, ainsi que le taux d'éclosion des oeufs. Ces derniers ont besoin de conditions particulières telles que le débit, la température et la présence de végétation submergée pour se développer
- Pertes importantes parmi les communautés aquatiques. La faune et la flore aquatiques, en particulier les poissons, souffrent de la sécheresse prolongée. Les hécatombes constatées lors d'épisode de sécheresse intense s'expliquent à la fois par les températures élevées des cours d'eau et par les concentrations en oxygène réduites en conséquence. Ces deux facteurs combinés entraînent un stress physiologique qui peut entraîner la mort des poissons.

II.2.3.3 Température

Voir II.2.1.1

II.2.4 Stress d'origine anthropique

II.2.4.1 La dégradation du couvert végétal

L'exploitation forestière a sérieusement diminué les réserves en bois précieux (santal, kaori, chêne gomme, houp). De nos jours cette activité ne concerne plus que de petites zones, mais les conséquences des anciennes exploitations forestières sont encore visibles. Globalement, une grande majorité de la forêt d'origine aurait disparu entraînant une modification de l'impluvium (quantité d'eau de pluie récoltée par bassin versant) et une baisse de niveau notamment des petits cours d'eau.

D'autre part, malgré des campagnes de prévention, les feux de brousse demeurent une réalité. Ils contribuent à la modification de la végétation et semblent expliquer l'extension de certaines espèces résistantes au feu, comme le niaouli. La disparition de la végétation en place implique la destruction d'habitats particuliers, comme la forêt sclérophylle par exemple, et a pour conséquence une exposition plus importante du sol aux conditions météorologiques (précipitations, vents). L'érosion résultante augmente la charge solide des rivières, entraînant des modifications physiques et chimiques des milieux aquatiques.

II.2.4.2 Les activités agropastorales

L'élevage intensif du bétail, sur des terres déjà fragilisées par les anciennes exploitations forestières et par les feux de brousse répétés, a pour conséquences, en plus de contribuer à la dégradation du couvert végétal, d'enrichir les cours en substances nutritives et d'augmenter les matières en suspension et la turbidité.

Dégradation du couvert végétal :

L'élevage intensif de bétail contribue à dégrader la végétation déjà fragilisée en détruisant les germinations et les plantules. La forêt sèche est particulièrement touchée par ce phénomène. Certaines zones particulièrement dégradées par les animaux sont actuellement considérées comme écologiquement détruites (Jaffre, 1994 dans Gabrié, 1995).

Enrichissement des eaux en substances nutritives :

Dans un cours d'eau en bon état écologique, les éléments nutritifs sont présents à de faibles concentrations et assurent une croissance normale des plantes aquatiques (macrophytes) et des microalgues (phytoplancton). Les déjections animales contribuent à enrichir les eaux en substances nutritives. Lorsque le phosphore devient trop abondant, il cause une croissance excessive des végétaux aquatiques. Ce processus d'enrichissement du milieu aquatique s'appelle « eutrophisation ». L'accroissement des populations de macrophytes et de phytoplancton ainsi que la formation de tapis d'algues peuvent provoquer une diminution de la qualité esthétique des cours d'eau, affecter le goût et l'odeur de l'eau et modifier complètement la composition de la faune aquatique présente.

Une autre répercussion de la croissance excessive des plantes aquatiques et des algues est l'augmentation de la variation journalière de la concentration en oxygène dissous dans l'eau. Alors que la photosynthèse produit de l'oxygène durant le jour, la respiration des végétaux consomme de l'oxygène pendant la nuit. Plus le milieu est productif (c'est-à-dire plus la croissance et la densité des végétaux sont importantes), plus l'amplitude journalière de cette variation est grande et plus le risque d'atteindre de faibles concentrations en oxygène (hypoxie) pendant la nuit est élevé, ce qui peut être néfaste pour les poissons.

D'autre part, la décomposition de la matière organique d'origine animale par les bactéries consomme de l'oxygène et peut également engendrer des conditions potentiellement

dommageables pour la faune aquatique. L'existence et la sévérité de tels épisodes dépendent de l'abondance de la matière organique à décomposer.

Matière en suspension :

Le piétinement des berges et du fond des cours d'eau par le bétail, le faible couvert végétal des terres, l'absence de barrières éoliennes, et le dénuement fréquent des rives des cours d'eau font des territoires agricoles un milieu particulièrement propice à l'érosion. Lors d'événements de pluie, le transport, par ruissellement, de particules de terre vers les cours d'eau occasionne une augmentation des matières en suspension et de la turbidité.

Il faut enfin mentionner l'utilisation d'engrais et d'insecticides contre les parasites du bétail qui occasionne une pollution chimique supplémentaire.

II.2.4.3 Les activités minières

Les anciennes extractions minières à ciel ouvert ont détruit de larges surfaces de forêt et ont produit d'importantes quantités de stériles. L'érosion résultante semble être une des plus importantes conséquences. En effet, les écoulements suite aux précipitations lessivent les zones minières et entraînent des charges solides (sédiments, métaux lourds) dans les rivières. Ceci se traduit par des perturbations importantes des écosystèmes aquatiques - modification du profil de rivières, destruction d'habitats, pollution chimique (Iltis 1987, 1990, Iltis et Crozier, 1987).

Plus précisément, les rejets des eaux de mines, des eaux usées de traitement du minerai, des eaux de refroidissement, des eaux de lixiviation des stériles, du minerai, ainsi que les rejets de boues lors des activités d'exploration et de mise en valeur se manifestent par la présence de métaux lourds, de modification du pH, d'une augmentation de température, de matières en suspension et de sels dissous dans l'eau.

Les drainages miniers acides génèrent également des particules solides en suspension. Ces particules ont pour origine la précipitation des métaux sous forme d'hydroxydes et d'oxyhydroxydes. Ces précipités métalliques se déposent sur les organismes aquatiques et ont une action anoxique sur la faune comme sur la flore. Ils recouvrent les branchies, la surface du corps et les œufs des poissons. Ils couvrent le fond des cours d'eau qui deviennent inhospitaliers aux organismes benthiques (Earle, 1998).

II.2.4.4 L'exploitation des ressources aquacoles

La pêche sportive :

L'activité halieutique concerne essentiellement le Black-bass (*Micropterus salmoides*) au Lac de Yaté. Le stock de poissons y est suivi régulièrement, la pression de pêche ne menace guère la population.

La situation est différente dans les rivières : la pêche à la senne (qui barre toute la largeur de la rivière) des poissons migrateurs au moment du frai semble à l'origine de « massacre des populations de mullets très abondants à une époque de l'année » (renseignement de vieux mélanésien de la région de Thio et du col de Nassirah). Toutes les autres espèces de poissons comestibles (les doules, les lochons de rivières, les anguilles) ne sont que ponctuellement pêchées. (D'après Kusser, 1970).

La pêche tribale :

La plus grande partie des crevettes et des poissons d'eau douce est ou était consommée en milieu tribal, où la nécessité liée aux habitudes alimentaires pousse la population locale à pêcher en eau douce. A ce jour la pêche régresse constamment, peu de rivières sont restées attractives d'un point de vue richesse (en terme de biomasse) en poissons et crevettes. En effet, d'après les renseignements de vieux chefs de tribus, la pollution minière entre autre et la surpêche (à la senne) auraient anéanti les populations de mulets noirs ou d'autres espèces comestibles. La pêche à la crevette est pratiquée occasionnellement, on remarque généralement une nette différence de densité de population entre la zone pêchée et le cours supérieur, qui s'avère parfois assez riche en nombre et taille d'individus. (D'après Kusser, 1970).

Le stress occasionné par l'exploitation des ressources aquacoles est difficile à estimer. Il n'y a en effet actuellement aucune gestion de la faune aquacole en Nouvelle-Calédonie et aucune connaissance sur les stocks de poissons et les volumes prélevés.

II.2.4.5 Les activités récréatives

La croissance rapide de la population de l'agglomération nouméenne induit une fréquentation accrue des espaces naturels de détente et de loisirs situés dans la périphérie immédiate de la ville, notamment lors des vacances et des week-ends de la période estivale.

Les principaux sites de baignade, de camping et de randonnée du Grand Nouméa sont localisés sur les berges de la Dumbéa et de la Rivière Bleue. Ces sites subissent directement la pression de cette fréquentation croissante. Il en résulte une pollution et une dégradation rapide de ces espaces naturels sensibles de l'agglomération.

II.2.4.6 Les décharges



Les décharges publiques et sauvages établies aux abords des cours d'eau peuvent présenter des risques potentiels de pollution. Les eaux de lessivage constituent un risque de pollution chimique et bactériologique avec des conséquences parfois lourdes pour les écosystèmes aquatiques.

A titre d'exemple, nous pouvons citer le dépotoir sauvage de la rivière de Tontouta qui sert de dépôt pour les ordures ménagères, les déchets encombrants et les carcasses de voitures. Comme autre exemple, citons la décharge réglementée de la Fausse Yaté qui dessert la région de Goro et qui est installée à 200 mètres de la rivière.

II.3. INVENTAIRES FAUNISTIQUES

II.3.1 L'ichtyofaune d'eau douce

II.3.1.1 Histoire de l'étude des eaux douces

La faune des eaux douces fut étudiée à diverses reprises et à divers degrés en Nouvelle-Calédonie. Jouan (1861, 1863, 1877), Castelnau (1873) et Ogilby (1897) ont été les premiers à s'y intéresser.

Jouan ne cite que des poissons marins ou saumâtres ; Castelnau (1873) donne 14 espèces collectées par M. Adet de Nouméa sans indication sur le lieu de capture, mais peu d'espèces dulçaquicoles y figurent ; M. Ogilby (1897) cite, quant à lui, six espèces de poissons de rivière.

Il faut attendre Weber et de Beaufort (1915) pour obtenir la première liste des espèces d'eau douce de cette région. La liste (comprenant une trentaine d'espèces de poissons) fut réalisée à partir des collectes effectuées sur 26 rivières (19 en Province Nord et 7 en Province Sud) par Sarasin et Roux entre 1911 et 1912.

Plus tard, Starmühlner (1968) prospecta 42 rivières (18 en Province Nord, 24 en Province Sud) (Séret, 1992, 1997). D'autres prospections menées dans le cadre de recherches particulières ont permis d'ajouter une vingtaine de rivières prospectées dans les provinces Nord et Sud et d'affiner la liste des espèces présentes.

Cependant, il faut attendre les travaux de Pöllabauer (1992, 1995, 1997a, 1999b) et les prospections intensives menées dans le cadre des missions CHLOE dans les trois provinces entre 1997 et 2002 (Keith et al., 2000 ; Marquet et al., 2001a,b ; Watson et al., 2001 ; Keith et al., 2002b ; Marquet et al., 2002 ; Watson et al., 2002). pour avoir une vision quasi exhaustive des peuplements de l'ensemble des rivières du territoire et pour établir la liste des espèces présentes.

II.3.1.2 Composition spécifique

Les connaissances disponibles pour la Nouvelle-Calédonie permettent actuellement d'identifier 103 espèces de poissons d'eau douce qui appartiennent à 39 familles différentes (Annexe II) qui comprennent :

- des espèces de répartition Pacifique et Indo-Pacifique (Japon, Indonésie et Mélanésie);
- des espèces cosmopolites de familles d'origine marine qui pénètrent dans l'eau douce;
- des espèces archaïques d'origine gondwanienne;
- des espèces endémiques résultant du long isolement géographique de la Nouvelle-Calédonie;
- des espèces introduites d'Amérique et d'Afrique :
 - les Tilapias *Oreochromis mossambicus* et *Sarotherodon occidentalis* comme poisson de fourrage et pour la consommation;
 - le black-bass ou l'achigan à grande bouche *Micropterus salmoides* pour la pêche sportive;
 - le poisson-million *Poecilia reticulata* et *Gambusia affinis* pour la lutte contre les moustiques;
 - la carpe japonaise *Cyprinus carpio*;
 - le poisson porte-épée *Xiphophorus hellerii*;

- le platy *Xiphophorus maculatus*.
- le poisson rouge *Carassius auratus*
- le gourami perlé *Trichogaster pectoralis*

Parmi les 103 espèces identifiées et répertoriées sur le Territoire¹, 90 sont autochtones², dont 10 endémiques (*Galaxias neocaledonicus*, *Schismatogobius fuligimentus*, *Sicyopterus sarasini*, *Sicyopus chloe*, *Stenogobius yateiensis*, *Stiphodon saphir*, *Parioglossus neocaledonicus*, *Protogobius attiti*, *Rhyacichthys guilbert*, et *Microphis cruentus*).

Neuf autres espèces autochtones sont toujours en cours d'identification : 4 d'entre elles ont été formellement identifiées nouvelles, donc endémiques, par des systématiciens (*Ophieleotris sp.*, *Oxyeleotris sp.*, *Sicyopterus sp.*, *Stiphodon sp.*). Si le statut était confirmé dans des publications, le nombre de poissons endémiques serait porté de 10 à 14 espèces et le nombre total d'espèces répertoriées sur le territoire de 103 à 107. Dans ce cas, le taux d'endémisme serait de 13%.

Parmi ces 9 espèces, 5 ont encore un statut incertain, pour les raisons suivantes :

- *Prionobutis* et 2 espèces de *Callogobius* ont été découvertes par la mission PEDCAL et décrites par Marquet et al., en 1992. Ni leur statut ni leur présence n'ont été confirmés depuis cette date.
- 2 espèces de *Sicyopterus* ont des caractéristiques significativement différentes des espèces connues en Nouvelle-Calédonie et leur identification nécessiterait d'être confirmée par un spécialiste.

Six familles ont des représentants endémiques : les Gobiidae, la famille la plus diversifiée (29 espèces) avec le plus grand nombre d'espèces endémiques (5 déjà publiées, plus 2, si confirmation); les Rhyacichthyidae (2 espèces, et qui sont endémiques), les Galaxiidae (une seule espèce et endémique), les Microdesmidae (une seule espèce et endémique), les Syngnathidae (4 espèces dont une endémique) et les Eleotridae (2 espèces à confirmer comme endémiques). Les familles Galaxiidae et Rhyacichthyidae sont considérées comme vivant strictement en eau douce (Marquet et al., 1997).

Il est à préciser que les espèces *Redigobius bikolanus* et *Eleotris melanosoma* sont inscrites sur la Redlist dans la catégorie des animaux menacés dans le monde [LR/nt : Low Risk near threatened (<http://www.redlist.org>)].

Les 22 espèces d'un intérêt halieutique et le plus communément pêchées sont :

- les carpes (*Kuhlia rupestris* et *Kuhlia marginata*);
- les mulots (7 espèces au total, dont les plus communes sont *Cestraeus plicatilis*, *Mugil cephalus* et *Liza tade*);
- les lochons (*Ophieleotris aporos*, *Ophieleotris sp.*, *Oxyeleotris gyrinoides*, *Oxyeleotris sp.*, *Eleotris fusca*);
- les anguilles (5 espèces : *Anguilla australis*, *A. marmorata*, *A. megastoma*, *A. obscura*, *A. reinhardtii*);
- les tarpons à filaments (*Megalops cyprinoides*);
- deux espèces introduites, le tilapia (*Oreochromis mossambicus*) et dans les retenues d'eau le black-bass ou achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*).

¹ La systématique des poissons d'eau douce de Nouvelle-Calédonie est relativement jeune et certains groupes taxonomiques sont encore peu connus ce qui donne lieu à des changements de nom fréquents. Parmi ceux-ci et à titre d'exemples, on peut citer les genres *Sicyopterus* ou *Awaous* dans la famille des Gobiidae ou encore *Oxyeleotris* et *Ophieleotris* parmi les Eleotridae. Or, les systématiciens qui travaillent sur les espèces calédoniennes sont en faible nombre et disposent de peu de moyens. Ces contraintes retardent l'avancement de l'état des connaissances concernant la faune ichtyologique calédonienne.

² Espèces autochtones = espèces originaires du pays qu'elles habitent.

II.3.1.3 Abondance relative

En Nouvelle-Calédonie, l'abondance relative des espèces de poissons est un sujet peu traité, les publications concernent principalement des descriptions d'espèces.

En effet, les effectifs des diverses espèces ou encore leur abondance relative n'ont jamais fait l'objet d'une étude. Les inventaires réalisés sur cinq cours d'eau du territoire entre 2003 et 2004 donne un aperçu de l'abondance relative des espèces (Tableau 8)

Les espèces les plus abondantes sont, par ordre décroissant :

- *Awaous guamensis*;
- *Oreochromis mossambicus* ;
- *Sicyopterus lagocephalus* ;
- *Anguilla marmorata*;
- *Anguilla reinhardtii*;

Tableau 8 : Abondance des espèces capturées dans cinq cours d'eau du territoire entre 2003 et 2004

Espèces	Nombre d'individus capturés	%
<i>Awaous guamensis</i>	873	51
<i>Oreochromis mossambicus</i>	179	10,5
<i>Sicyopterus lagocephalus</i>	172	10
<i>Anguilla marmorata</i>	154	9
<i>Anguilla reinhardtii</i>	141	8,2
<i>Kuhlia rupestris</i>	75	4,4
<i>Eleotris fusca</i>	26	1,5
<i>Megalops cyprinoides</i>	24	1,4
<i>Poecilia reticulata</i>	23	1,3
<i>Kuhlia munda</i>	13	0,7
<i>Cestraeus oxyrhynchus</i>	7	0,4
<i>Redigobius bikolanus</i>	7	0,4
<i>Cestraeus plicatilis</i>	6	0,35
<i>Protogobius attiti</i>	6	0,35
<i>Mugil cephalus</i>	6	0,35
TOTAL	1 712	100%

II.3.1.4 Distribution

Les inventaires et les relations biogéographiques de l'ichtyofaune calédonienne ont souvent intéressé les ichtyologistes (Weber et De Beaufort, 1915, McDowall, 1992; Séret, 1997; Pöllabauer, 1997b, Walford et Pease, 2000). Toutefois, les informations recueillies sont fragmentaires et ne permettent pas d'obtenir un portrait clair de la distribution des espèces à l'échelle du territoire ou de la zone d'étude élargie.

Weber et De Beaufort (1915) résument la répartition des poissons d'eau douce à quelques descriptions de localités. Ils ont échantillonné une seule rivière du massif de Koniambo, la Koné : 5 espèces de poissons y ont été répertoriées : 2 spécimens d'*Anguilla reinhardtii*, une d'*Anguilla australis*, 4 spécimens de *Dorichthys caudatus* (dont le nom scientifique valide est actuellement *Microphis retzii*), 2 spécimens de *Scatophagus argus* et 5 spécimens de *Gobius crassilabris* (dont le nom scientifique valide est actuellement *Awaous guamensis*).

McDowall (1992) réalise un premier bilan des connaissances relatives à la distribution des espèces sur le Territoire sans toutefois présenter ses résultats par rivière. Selon lui, l'ichtyofaune de Nouvelle-Calédonie présente un total contraste avec celle de Nouvelle-Zélande. Seul le *Nesogalaxias neocaledonicus* illustre l'ancienne connexion entre ces deux îles. Le reste de l'ichtyofaune néo-calédonienne offre de grandes similarités avec celles des autres îles du Pacifique tropical, en particulier en ce qui concerne les espèces d'anguilles. La faune est plutôt riche en aval, dominée par les Gobiidae. Suivant le gradient aval-amont, un déclin rapide et drastique en terme de diversité s'observe, les Gobiidae demeurant le groupe dominant. La pauvreté de l'ichtyofaune peut s'expliquer par le manque de nourriture disponible et par la nature du substrat. En effet, la ressource alimentaire est un facteur qui a un rôle déterminant dans la répartition des poissons. Ainsi, comme le souligne Catala (1950), l'abondance des poissons de la famille des Mugilidae est en relation directe avec le développement d'algues d'eau douce à des époques déterminées.

La distribution de plusieurs espèces autochtones¹ ou introduites² dans les cours d'eau calédoniens a été étudiée par la suite par Pöllabauer (1999b) et complétée par l'atlas des poissons et crustacés d'eau douce de Nouvelle Calédonie (Marquet *et al.*, 2003). Ce dernier document constitue un état de référence sur la répartition spatiale des principales espèces recensées en Nouvelle-Calédonie.

Le texte qui suit résume l'information recueillie sur la distribution spatiale des principales familles de poissons capturées sur la Grande Terre.

Ambassidae

Ces petites perches transparentes sont des habitants typiques des estuaires, toutefois pas très communes. Deux espèces ont été capturées sur le territoire : *Ambassis interruptus* et *Ambassis miops*. La première dans la rivière Boghen, la Canala, la Napoémien et la Oueiep tandis que la deuxième a été capturée dans la rivière Carénage, la Napoémien et la Oueiep.



Anguillidae



Cinq espèces d'anguilles sont observées en Nouvelle-Calédonie; *Anguilla reinhardtii* et *A. marmorata* sont abondantes dans la majorité des rivières. On rencontre *A. obscura* et *A. megastoma* assez couramment dans les cours supérieurs des rivières, souvent

¹ La carpe, *Kuhlia rupestris*, le mulot noir *Cestraeus plicatilis*, plusieurs espèces de lochons – la famille des Eleotridae, d'anguilles, le tarpon à filaments *Megalops cyprinoides*.

² Comme l'achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*) ou le tilapia (*Oreochromis mossambicus* et *Sarotherodon occidentalis*).

dans les parties accidentées. *A. australis schmidtii* semble la plus rare mais a été cependant trouvée dans plusieurs rivières.

Apogonidae



Cette famille regroupe des espèces essentiellement marines, certaines peuvent néanmoins se trouver en eau saumâtre et quelques-unes en eau douce. Ainsi les Apogonidae restent souvent en bancs dans les embouchures et montent dans l'eau douce à marée basse. En Nouvelle-Calédonie, deux espèces sont présentes : *Apogon amboinensis* et *Apogon hyalosoma*. Elles ont aussi bien été capturées dans le Sud, à la Dumbéa, à Goro dans la Wadjana, dans le Nord sur la Côte Est dans la Napoémien, que sur la Côte Ouest sur le massif de la Tiébaghi.

Blennidae, Gerreidae, Haemulidae, Leiognathidae, Lutjanidae, Monodactylidae, Pomacentridae, Sparidae, Sphyraenidae, Tetraodontidae

Toutes ces familles sont des poissons d'origine marine, dont l'aire de répartition s'étend tout autour de la Grande Terre dans les mangroves et les estuaires jusqu'au cours inférieur des rivières tant qu'il n'y a pas de barrières (chutes ou cascades) à franchir.

Carcharhinidae

Un représentant de cette famille de requins a été observé dans l'embouchure des rivières du Sud, du creek de la baie Nord à la Ouenghi. *Carcharhinus leucas* est une espèce marine qui se reproduit également en eau douce.

Centrarchidae



L'achigan à grande bouche ou black-bass (*Micropterus salmoides*), espèce carnassière vivant en eau douce, a été introduit initialement en 1960 au lac de Yaté, pour la pêche sportive. Cependant beaucoup de propriétaires, notamment sur la Côte Ouest, l'ont introduit également dans des retenues d'eau privées. Cette espèce a réussi, lors de la vidange du lac de Yaté, à remonter la Rivière Bleue, le principal cours d'eau de la réserve intégrale du parc de la Rivière Bleue qui héberge au moins deux espèces endémiques de poissons, le *Galaxias neocaledonicus* et le *Sicyopterus sarasini*, ainsi que de petites crevettes endémiques du genre *Paratya* (Pöllabauer, 1999b). Dans cette rivière, il semble donc que les achigans à grande bouche puissent partager la niche écologique du *Galaxias neocaledonicus*. On peut supposer alors que le poisson endémique figure dans le régime alimentaire des achigans (Laboute & Grandperrin, 2000).

Cichlidae, Poeciliidae

Ces deux familles de poissons introduits, les Tilapias et les poissons-million ou guppys (introduits pour la lutte antimoustique), ont envahi tous les cours d'eau de la Grande Terre et représentent souvent le plus grand nombre en effectif (pour les guppys) et en biomasse (pour les Tilapias) dans les travaux d'inventaire ou dans les prises de pêche expérimentale.



Deux espèces de Tilapias ont été répertoriées : *Oreochromis mossambicus* et *Sarotherodon occidentalis*. Ce dernier vit dans la rivière de La Madeleine où il entre en compétition avec le poisson endémique *Galaxias neocaledonicus* (Laboute & Grandperrin, 2000). Aucune étude n'a été réalisée à l'heure actuelle pour quantifier et qualifier cette compétition interspécifique. *Oreochromis mossambicus* se trouve dans toutes les rivières et les lacs (probablement dans la Rivière Bleue et la Rivière Blanche), sauf dans la rivière de La Madeleine (Laboute & Grandperrin, 2000).

Trois espèces de Poeciliidae existent en Nouvelle-Calédonie : *Gambusia affinis*, *Poecilia reticulata* et le porte-épée *Xiphophorus hellerii*. Les poissons-milliers sont considérés comme des pestes à cause de leur reproduction prolifique. De plus, *Gambusia affinis* se nourrit d'œufs, d'alevins et semble attaquer des poissons plus gros. En Australie, la possession de cette espèce, considérée nocive, est interdite (Allen, 1991). Dans la rivière la Foa, les Poeciliidae (*Poecilia reticulata* et *Xiphophorus hellerii*) semblent coexister dans une même niche écologique que *Redigobius bikolanus*, une espèce vulnérable, où ils entrent en compétition avec ce poisson autochtone (même type de biotope et de nourriture).

Eleotridae



Dix espèces ont été inventoriées sur le territoire, deux d'entre elles n'ont pas encore été décrites au niveau de l'espèce. Les espèces présentes vivent dans les estuaires et le cours inférieur des rivières, certaines remontent les cours d'eau pas trop accidentés et ont été inventoriées dans le cours supérieur (*Eleotris melanosoma* et *E. fusca*, *Ophieleotris aporos*, *Oxyeleotris gyrinoides*). Deux espèces d'Eleotridae sont plutôt communes (*E. melanosoma* principalement dans le Sud de la Grande Terre et *E. fusca* plutôt dans le Nord), toutes sont pêchées, quelques-unes peuvent atteindre plus de 30 cm pour un poids de 1-2 kg. Souvent cachées dans les berges, ou très localisées à un seul microhabitat, leur présence n'est pas facilement détectable (lors des premiers jours d'inventaire).

Galaxiidae

En 1915, Weber et De Beaufort décrivent une nouvelle espèce de cette famille : le *Galaxias neocaledonicus*. Cette espèce salmoniforme et typique des eaux froides possède une origine ancienne et met en évidence les connexions passées avec la Nouvelle-Zélande (McDowall, 1990, 1992) et le Gondwana. Cette espèce est endémique du sud de la Grande Terre (Chutes de la Madeleine, Rivière Bleue, Rivière Blanche, Lac en huit, Rivière du mois de Mai). Selon McDowall (comm. pers.), il serait plausible de la trouver dans les cours d'eau clairs et non impactés sur toute la Grande Terre. Actuellement l'espèce est gravement menacée d'extinction et a disparu de plusieurs sites en raison de l'introduction dans son milieu du Black-bass et du Tilapia qui s'en nourrissent.



Gobiidae



Les Gobiidae représentent la famille de poissons la plus diversifiée. On trouve ses représentants dans la majorité des rivières d'eau claire et rapide et peu impactées. Les espèces les plus communes (*Sicyopterus lagocephalus*, *S. micrurus*) sont omniprésentes dans les cours d'eau de la Grande Terre, sauf dans l'extrême Sud où une espèce endémique découverte en 1911, le *Sicyopterus sarasini* (Weber et De Beaufort, 1915) est dominante. D'autres genres et espèces habitent les zones de cascades et de chutes dans les cours supérieurs des rivières. Beaucoup d'espèces ont un statut incertain, n'ont pas encore été décrites ou identifiées clairement. Ce groupe controversé demande une révision des genres et espèces permettant d'apporter des éclaircissements et des précisions quant au taux d'espèces endémiques de la Nouvelle-Calédonie. Les Gobiidae sont fréquemment indicateurs d'eaux propres, l'espèce la moins sensible aux pollutions diverses est *Awaous*, et certaines autres peuvent résister aux faibles pollutions organiques : *Sicyopterus micrurus*, *S. lagocephalus*, *Redigobius* et *Glossogobius*. Toutes les autres espèces de cette famille, typiques des cascades de cours supérieur, sont difficiles à inventorier, puisque, dans la majorité des cas, plusieurs heures d'escalade sont nécessaires pour les atteindre.

Hemiramphidae

Les poissons de cette famille sont appelés « aiguillettes » et nagent à la surface de l'eau, dans les embouchures et les estuaires, l'espèce *Zenarchopterus dispar* a été observée dans la Dumbéa, la Ouenghi et dans la rivière La Foa.

Kuhliidae



Les carpes sont largement répandues sur toute la Grande Terre. Trois espèces sont présentes en Nouvelle-Calédonie : *Kuhlia rupestris*, communément appelée carpe ou doule, *Kuhlia marginata*, la carpe à queue rouge, et *Kuhlia munda*, la carpe à queue jaune. *Kuhlia rupestris* est l'espèce la plus grande en taille et la plus abondante,

Kuhlia marginata est plus rare, *K. munda* plus typique des embouchures.

Megalopidae

Il s'agit de poissons plutôt marins, fréquentant le plus souvent les zones d'estuaires. Une espèce est présente en Nouvelle-Calédonie : le tarpon à filament *Megalops cyprinoides*. Les juvéniles jusqu'à 35 cm environ rentrent dans les eaux douces et sautent au-dessus des barrages antisel.



Microdesmidae

Cette famille regroupe des espèces marines qui se trouvent rarement en eaux saumâtres (Nelson, 1984). Une espèce nouvelle et endémique *Parioglossus neocaledonicus* (d'environ 1-2 cm) a été découverte en 1991 dans la Dumbéa, en province Sud, et dans la Tite, sur la Côte Est (Séret et Dingerkus, 1992). Des nouvelles investigations ont permis de trouver une troisième localité en province Sud, dans la rivière Wadjana (Goro). Ils semblent vivre en bancs dans les embouchures et près des rives. Cette espèce endémique a été observée dans trois rivières où la qualité et la clarté de l'eau sont grandes (malgré les impacts agropastoraux et humains dans la Dumbéa), on peut donc supposer la présence du *Parioglossus* surtout dans des rivières peu impactées.

Moringuidae, Muraenidae, Ophichthyidae



Ces trois familles marines (Nelson, 1984), de l'ordre des anguilliformes, sont toutes aussi rares les unes que les autres. Certaines espèces ont néanmoins été observées durant les investigations de la mission PEDCAL en province Nord, ainsi *Moringua microchir* (Moringuidae) a été trouvée dans un affluent de

la Tiwaka, la Oundou et dans la Oueiep, *Gymnothorax polyuranodon* (Muraenidae) dans la Ouenghi, dans la Voh et dans la Pouembout et *Lamnostoma kampeni* (Ophichthyidae) dans la Oundou (Pöllabauer, 1999b). Il s'agit cependant de spécimens rares et difficilement détectables (*Moringua* est cryptique, vivant dans un sol meuble).

Mugilidae

Sept espèces ont été répertoriées en Nouvelle-Calédonie. L'espèce la plus abondante dans le Sud est le mulot noir *Cestraeus plicatilis*. Il fréquente régulièrement l'ensemble des cours d'eau dans les zones de rapides plus ou moins profonds. Selon les indications des habitants, cette espèce semble avoir déserté la majorité des rivières de la province Nord. Peu de données précises, à part quelques captures singulières, existent quant à la répartition des autres espèces.



Rhyacichthyidae



Les Rhyacichthyidae sont des gobies adaptés pour monter dans les cascades à pente forte, grâce à un corps aplati et à des nageoires très élargies. Il existe jusqu'à présent deux genres : *Rhyacichthys* (Seret et Dingerkus, 1992), capturé et observé uniquement en province Nord sur le Mont Panié et recueilli en 1999 sur la Côte Est (par G. Marquet, comm. pers. F. Devinck, Direction des Ressources Naturelles, Province Sud) et *Protogobius*, un nouveau genre récemment décrit et l'espèce correspondante dénommée *Protogobius attiti* (Watson et Pöllabauer, 1998), dont la répartition semble restreinte au sud de la Grande Terre. Il s'agit de deux espèces endémiques récemment découvertes, aucune indication ne peut être donnée quant à leur répartition spatiale.

Scatophagidae



Cette famille regroupe des espèces marines et d'eau saumâtre. Une espèce *Scatophagus argus* n'a été observée qu'une fois dans la Dumbéa, en province Sud, et répertoriée dans la Voh, sur le massif du Koniambo. Cette espèce s'aventure dans les cours inférieurs des rivières et est prisée par les pêcheurs.

Siganidae

Les picots sont typiques des zones côtières et entrent fréquemment dans les estuaires, les juvéniles peuvent remonter des courtes distances dans l'eau douce des creeks ou des rivières. Au cours de la mission PEDCAL (Marquet et *al.*, 1997), une espèce *Siganus vermiculatus* a été capturée.

Syngnathidae

Proche des hippocampes, cette famille est marine avec quelques espèces se trouvant dans les embouchures et en eau douce. Citée par Weber et De Beaufort dans la rivière Koné en 1915, *Doryichthys caudatus* est actuellement dénommée *Microphis retzii* et n'a pas été répertoriée en Nouvelle-Calédonie depuis. D'autres espèces de la même famille ont été capturées dans la Wadjana (*Microphis brachyurus brachyurus*) (Pöllabauer 1999b), *Microphis cruentus* à la Dumbéa et la Ouenghi (comm. pers. P. Laboute, IRD, Nouméa), *Microphis leiaspis* dans la Napoémien par la mission PEDCAL. Cette famille reste néanmoins rare, son aire de répartition incertaine.



Synodontidae

Un exemplaire du poisson lézard (*Saurida nebulosa*) a été trouvé dans la Fausse Yaté, un autre en province Nord sur la Côte Est, à Hienghène. Ne disposant d'aucune indication quant à l'espèce, leur aire de répartition reste inconnue.

Teraponidae



Les relégués ou poissons violon (*Terapon jarbua*) semblent largement répandus dans les cours inférieurs de la Côte Ouest, dans les zones de rivières plus profondes et à turbidité élevée, souvent dans les zones à macrophytes de faible courant. Ainsi cette espèce a été capturée dans le creek de la baie Nord, dans la Néra et la Ouenghi.

II.3.1.5 Biologie

Territoire, domaine vital et déplacements

Pour la Nouvelle-Calédonie, l'habitat des poissons est un thème peu étudié et, de ce fait, peu documenté. Trois références décrivant avec plus ou moins de précision les habitats aquatiques ont été répertoriées (Pöllabauer, 1997a, 1999b; Province Sud, 1997).

Jusqu'à présent, quatre facteurs principaux ont permis de catégoriser les différentes espèces de poissons en fonction des caractéristiques de leur habitat :

- la vitesse de courant;
- la nature du substrat;
- la profondeur;
- la présence de nourriture.

Trois assemblages de poissons ont ainsi pu être différenciés :

- *les poissons de cascades sur substrat rocheux* : quelques lochons *Sicyopterus*, *Stiphodon*, les gobies de torrent de la famille des Rhyacichthyidae, puis le *Nesogalaxias neocaledonicus*, etc.;
- *les poissons carnassiers de pleine eau de plus d'un mètre de profondeur* : le tarpon à filaments *Megalops cyprinoides*, les carpes omnivores et insectivores *Kuhlia rupestris* et *K. marginata*, l'achigan à grande bouche ou Black-bass *Micropterus salmoides*, les tilapias *Oreochromis mossambicus* et *Sarotherodon occidentalis*, les guppys et le poisson porte-épée;
- *les poissons de fond* : les gobies du genre *Sicyopterus*, *Glossogobius* et *Awaous*, *Schismatogobius*, les anguilles, les lochons de la famille des Eleotridae.

Le tableau 9 présente les habitats des principales espèces de poissons d'un intérêt halieutique recensées en Nouvelle-Calédonie (Pöllabauer, 1997a).

L'étude de Pöllabauer permet d'obtenir une description sommaire des habitats de 97 espèces répertoriées en Nouvelle-Calédonie. Ces informations permettent, suite à une caractérisation des cours d'eau, de répertorier les zones d'habitat potentiel de ces espèces, présentées au tableau 9.

La migration des poissons est un thème abondamment couvert par la littérature. Ces déplacements sont le plus souvent liés à la reproduction.

On distingue trois catégories:

- les poissons anadromes qui passent la majorité de leur vie en mer et qui migrent en eau douce pour s'y reproduire
- les poissons catadromes qui passe la majorité de leur vie en eau douce et qui migrent en mer pour se reproduire
- les poissons amphidromes: les femelles pondent dans l'eau douce de très nombreux ovules fertilisés ensuite par les mâles. Après l'éclosion, entraînées par le courant, les larves gagnent la mer où la durée de leur séjour est variable. Les jeunes alevins retournent ensuite dans l'eau douce pour y poursuivre leur croissance.

Les poissons catadromes sont représentés par cinq espèces d'anguilles: *Anguilla australis*, *Anguilla marmorata*, *Anguilla megastoma*, *Anguilla obscura* et *Anguilla reinhardtii*.

Les poissons amphidromes sont majoritaires et sont représentés essentiellement par deux familles, les Gobiidae et les Eleotridae.

Par ailleurs, McDowall (1992) mentionne la présence de familles marines dans les cours d'eau douce et insiste donc sur leur déplacement. Il cite en particulier les Muraenidae, les

Tableau 9 : habitats des principales espèces de poissons d'un intérêt halieutique

Famille	Espèce	Habitat	Microhabitat
Anguillidae	<i>A. marmorata</i>	Cours inférieurs à supérieurs des rivières à courant lent et substrat fin	Poisson de fond associé aux substrats riches en matières organiques
	<i>A. reinhardtii</i>		
Eleotridae	<i>Eleotris fusca</i>	Cours inférieurs des rivières à courant lent et substrat fin	Poisson de fond présent près des berges et dans les racines
	<i>Ophieleotris sp.</i>	Cours inférieurs des rivières à courant lent et substrat fin	Poisson de fond présent près des berges sur fonds vaseux et sous les branches de bois mort
	<i>Ophiocara porocephala</i>	Cours inférieurs des rivières à courant lent et substrat fin	Poisson de fond présent dans les embouchures et caché entre les rochers
	<i>Oxyeleotris sp.</i>	Cours inférieurs des rivières à courant lent et substrat fin	Poisson de fond vaseux présent dans les marais et sur les berges
Kuhliidae	<i>Kuhlia rupestris</i>	Cours d'eau intermédiaires à vitesses moyenne à rapide sur substrat rocheux à graveleux	Poisson de pleine eau qui fréquente les eaux de plus d'un mètre de profondeur sur substrat rocheux à graveleux
Megalopidae	<i>Megalops cyprinoides</i>	Cours inférieurs des rivières à courant lent et substrat fin, mangroves et retenues	Poisson de pleine eau qui fréquente les eaux de plus d'un mètre de profondeur sur substrat fin
Mugilidae	<i>Cestraeus plicatilis</i>	Cours d'eau intermédiaires à courants rapide à moyen sur substrat rocheux à graveleux ou cascades à courant rapide sur substrat rocheux	Poisson de pleine eau présent dans les rapides, petites cascades mais aussi près des berges et sous des bois morts

Ophichthyidae trouvées à plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres, ainsi que différentes espèces de mulot gris (*Liza sp.*).

Des informations sur les migrations des mâles et des femelles de carpes (*Kuhlia rupestris*) et de mulots noirs (*Cestraeus plicatilis*) ont été rapportées (Pöllabauer, 1997a). Ces déplacements sont liés à la reproduction qui a lieu au niveau des embouchures, pour les carpes, dans des eaux dont la salinité dépasse les trente pour mille (Lewis et Hogan, 1987). Les carpes femelles semblent avoir un territoire plus grand que celui des mâles. En effet, elles ont été retrouvées dans le cours supérieur des rivières alors que les mâles semblent vivre préférentiellement dans le cours inférieur.

Alimentation et croissance

Régime alimentaire

Six documents (Allen, 1991; Catala, 1950; Laboute & Grandperrin, 2000; Mary et al., 1997; Pöllabauer, 1997a, 1999b) portant sur le régime alimentaire des poissons d'eau douce ont permis d'établir le tableau 4.4.

Les benthivores s'alimentent essentiellement sur les organismes du benthos :

- invertébrés, insectes et larves d'insectes : Gerreidae, *Stenogobius*, *Stiphodon*, Leiognathidae;
- détritus et périphyton : Mugilidae;
- mollusques : Eleotridae;
- poissons, crustacés : Anguillidae.

Les omnivores se nourrissent de poissons, de batraciens, de crustacés, d'insectes, de mollusques, d'autres invertébrés aquatiques et de végétaux.

Les phytophages se nourrissent essentiellement de végétaux aquatiques et d'algues.

Les détritivores consomment les détritus, la matière organique en décomposition.

Le régime alimentaire de 26 des 36 familles répertoriées en Nouvelle-Calédonie est documenté. On constate que le régime carnivore est prépondérant. L'importance des benthophages souligne le lien entre benthos et poissons d'eau douce (Mary et al., 1997) et l'intérêt de réaliser des études comparées de ces deux communautés. Parmi les familles les plus diversifiées (Gobiidae), des informations concernant le régime alimentaire de quelques espèces ont été répertoriées : elles illustrent bien la grande diversité de ces groupes. En effet, on trouve à la fois des espèces carnivores et prédatrices, omnivores, benthophages, et dont le régime se compose de végétaux (algues).

Un article apporte des précisions sur une espèce. Ainsi, Lewis et Hogan traitent du régime alimentaire des carpes ou mulots *Kuhlia rupestris* à Fidji (1987), elles sont omnivores, se nourrissant de différents crustacés, d'insectes, de petits poissons, de fruits et globalement de tout ce qui tombe de la végétation surplombant la rivière.

Ces données peuvent être utiles à la détermination d'espèces bio-indicatrices de perturbation. En effet, l'absence d'une espèce, normalement présente, pourra être reliée à la disparition de sa ressource alimentaire, par exemple des algues aquatiques, ce qui indiquera aussi une perturbation de l'écosystème. Un résumé de la conférence « 5th Indo-Pacific fish conference, Nouméa, novembre 1997 » traite des interactions trophiques entre poissons et macro-invertébrés benthiques en Nouvelle-Calédonie (Mary et al., 1997). Le benthos joue plusieurs rôles dans le fonctionnement de l'écosystème aquatique. Il peut influencer les cycles des nutriments, la production primaire et la décomposition de la matière. Il constitue une source importante de nourriture pour les poissons. Cette communauté constitue un maillon essentiel de la chaîne alimentaire et de l'équilibre écologique des cours d'eau. En effet, l'absence ou la présence d'invertébrés benthiques permet de qualifier la qualité du

cours d'eau et peut, par ailleurs, avoir une influence sur la composition des communautés de poissons.

Croissance

Peu de documents portent spécifiquement sur la croissance des poissons. Néanmoins, la disponibilité et la quantité de la ressource alimentaire sont des facteurs intervenant dans la croissance des poissons et dans leur répartition (McDowall, 1992).

De janvier 1996 à novembre 1997, une étude de croissance par marquage et capture / recapture a eu lieu dans une rivière de la province Sud (Pöllabauer, 1997a). Deux espèces étaient concernées, le mulot *Cestraeus plicatilis* et la carpe *Kuhlia rupestris*. La croissance de la carpe est d'environ 2 cm/an (figure 4.1, tableau 4.5). De manière générale, la taille atteinte par les mâles est plus petite, leur croissance étant plus lente. Le mulot noir montre une croissance d'environ 10 cm dans les deux premières années. En 10 ans, il peut atteindre une longueur de 25 à 30 cm, soit 2 à 3 cm par an. Ces données ne sont applicables qu'aux populations étudiées et pour la durée de l'étude. Les résultats concordent néanmoins avec ceux de Lewis et Hogan (1987). Selon Catala (1950), la taille moyenne de *Cestraeus plicatilis* est de 25 cm pour 400 g, mais certains peuvent atteindre 40 cm et dépasser le kilogramme. La croissance de la carpe introduite *Cyprinus carpio* est rapide dans des conditions favorables, ainsi les juvéniles peuvent atteindre 175 mm la première année.

Structure des populations

Peu de documents portant sur ce sujet ont été recensés. Ainsi la structure des populations de deux espèces, la carpe (*Kuhlia rupestris*) et le mulot noir (*Cestraeus plicatilis*), a été évaluée dans certains cours d'eau néo-calédoniens à partir de la méthode de marquage – recapture (Pöllabauer, 1997a). Des analyses de cohortes ont été réalisées pour tenter de mettre en évidence la période de frai et l'apparition des juvéniles. Pour la carpe, les premiers juvéniles ont été observés en mars en eau saumâtre, puis en avril en eau douce. A partir de septembre, plus aucun juvénile n'a été capturé. Pour le mulot noir, les premiers juvéniles ont été aperçus en eau douce en février.

Des travaux d'inventaire de stock ont été réalisés sur les anguilles (*Anguilla marmorata*, *Anguilla reinhardtii*) (Pöllabauer, 1999b). Cependant les nasses utilisées représentent un moyen de pêche sélectif excluant les petites tailles (d'une longueur totale inférieure à environ 50 cm). Par ailleurs, les captures par unité de temps étaient insuffisantes, aucune analyse des fréquences de taille n'a donc pu être réalisée.

Reproduction

L'inventaire de la faune ichtyologique et carcinologique de Nouvelle-Calédonie (Pöllabauer, 1999b) présente de manière synthétique la biologie des espèces recensées et, en particulier, leur reproduction. On présume que les 5 espèces endémiques suivantes se reproduisent en eau douce : *Rhyacichthys guilberti*, *Protogobius attiti*, *Sicyopterus sarasini*, *Sicyopus nuchaspilotus* et *Galaxias neocaledonicus*. Cependant elles n'ont jamais fait l'objet d'une étude de cycle de vie et leur comportement de reproduction, leurs aires de frai et leur croissance sont autant de facteurs qui restent totalement inconnus. Il en est de même pour l'espèce endémique d'eau saumâtre *Parioglossus neocaledonicus*.

Les espèces introduites des familles Centrarchidae, Cichlidae, Poeciliidae et Cyprinidae vivent et se reproduisent en eau douce, leurs frayères se trouvent près de plantes aquatiques et sur des fonds meubles.

Les espèces de migrants catadromes (vivant en eau douce et se reproduisant dans la mer) sont les Anguillidae, Kuhliidae, Mugilidae, Eleotridae, leur frayère se trouve donc dans

l'estuaire (Kuhliidae, Eleotridae, Mugilidae – sauf les espèces marines) ou dans la mer (Anguillidae).

Chez les espèces diadromes (naviguant entre la mer et l'eau douce) vivant près des côtes et dans les estuaires, ce sont parfois uniquement les juvéniles qui passent une partie de leur vie en eau douce : les Apogonidae, les Chandidae, les Gerreidae, les Haemulidae, les Hemirhamphidae, les Leiognathidae, les Lutjanidae, les Megalopidae, les Sphyrnaeidae, les Syngnathidae et les Teraponidae, ils se reproduisent généralement en mer.

Seul le requin taureau *Carcharhinus leucas* est une espèce anadrome, il vit en mer et se reproduit en eau douce.

Facteurs de mortalité et de contrôle des populations

Les principaux facteurs de mortalité et de contrôle des populations sont la pêche artisanale et la dégradation de la qualité de l'eau, ainsi que les apports sédimentaires causés par les activités de développement urbain, agricole et minier. Ils provoquent une modification de l'habitat ou du microhabitat, et effectuent ainsi un contrôle indirect sur les populations :

- § L'exploitation de la ressource : la pêche de subsistance en Nouvelle-Calédonie fait encore souvent appel à des techniques provoquant une mortalité importante, et cela, malgré la réglementation de la pêche en eau douce. En effet, la pose de sennes en période de crue permet des captures massives des espèces migratrices descendant vers la mer pour se reproduire. Cette pratique entraîne une mortalité importante des reproducteurs potentiels. Les principales familles concernées sont les Anguillidae, Kuhliidae, et les Mugilidae (Catala, 1950). D'autres espèces pêchées sont les Megalopidae et les Cichlidae. L'empoisonnement à l'aide de plantes de rivage semble également encore pratiqué (comm. pers. des riverains).
- § Toute perturbation, qu'elle soit d'origine naturelle (cyclone, crues) ou humaine (impact des activités de développement urbain, agricole, minier ou forestier, des feux de brousse...), entraîne une modification de l'habitat et peut nuire par la suite à l'éclosion des œufs des espèces qui fraient sur substrat graveleux ou rocheux et qui requiert une bonne qualité de l'eau. Principalement concernées sont encore toutes les espèces migratrices, soit une large majorité des espèces autochtones (Anguillidae, Kuhliidae, Mugilidae, Eleotridae, et un nombre incertain de Gobiidae).
- § L'introduction d'espèces exotiques qui se traduit la plupart du temps par une compétition interspécifique, spatiale et trophique entre les espèces (Gargominy et al., 1996). Quand des espèces introduites, qui sont souvent plus résistantes aux perturbations du milieu, arrivent à se développer dans un nouveau milieu, leur faculté d'adaptation est généralement très large (grande prolificité, faible spécificité d'habitat, grande tolérance aux modifications environnementales), et leur chance de survie donc supérieure aux espèces autochtones. Ainsi *Galaxias neocaledonicus* semble menacé par l'introduction de deux espèces exotiques (*Sarotherodon occidentalis* et *Micropterus salmoides*).

II.3.1.6 Valeur intrinsèque et d'usage

Valeur intrinsèque

Quelques espèces de poissons ont une importance dans la mythologie mélanésienne (transmission orale), cependant aucun écrit à ce sujet n'a pu être identifié. C'est le cas de l'anguille.

Galaxias neocaledonicus dispose d'un statut particulier. Il est considéré comme un indicateur des anciennes affinités entre l'ichtyofaune de Nouvelle-Zélande et celle de Nouvelle-

Calédonie (McDowall, 1990) et entre celles d'Australie et de Nouvelle-Calédonie (Séret, 1997).

Quatre espèces, présentes en Nouvelle-Calédonie, possèdent un statut particulier (UICN, 1996). Elles sont toutes citées dans la catégorie « à faible risque – presque menacée », cependant aucune précision n'est fournie pour connaître la situation de ces espèces en Océanie. Il s'agit des espèces suivantes :

- *Carcharhinus leucas* (requin taureau), il s'agit d'une espèce marine qui pénètre les cours d'eau douce. Elle a été répertoriée dans 3 des 34 rivières inventoriées de 1994 à 1998 (Pöllabauer, 1999b). Son aire de répartition pourrait également s'étendre à la ZEE. Cela n'apporte qu'une information qualitative et ne permet de formuler aucune hypothèse quant à son statut en Nouvelle-Calédonie;
- *Eleotris melanosoma*, cette espèce semblait encore assez fréquente dans les rivières de la province Sud en Nouvelle-Calédonie : en effet, elle a été capturée dans 27 des 34 rivières inventoriées (Pöllabauer, 1999b). Elle se trouve néanmoins dans la catégorie « à faible risque – presque menacée », il paraît donc intéressant de porter une attention particulière à cette espèce;
- *Glossogobius biocellatus*, cette espèce n'a pas été trouvée au cours du recensement 1994-1998 (Pöllabauer, 1999b), elle a par contre été mentionnée par Marquet et al. (1997);
- *Redigobius bikolanus*, cette espèce a été capturée dans 7 des 34 rivières échantillonnées (Pöllabauer, 1999b). Aucune conclusion ne peut néanmoins être émise quant à son statut en Nouvelle-Calédonie.

Valeur d'usage

Par valeur d'usage, on entend la valeur alimentaire, commerciale des espèces. Ainsi la littérature recense les différentes familles et espèces habituellement pêchées : les doules ou carpes *Kuhlia rupestris*, les mulets noirs *Cestraeus plicatilis* et les tarpons à filaments *Megalops cyprinoides* (Catala, 1950). Ces résultats sont repris dans une publication de Marquet et Mary (1997). Néanmoins aucune quantification de cette activité n'est proposée. À ces familles se rajoutent les Anguillidae, famille à haute valeur alimentaire en Nouvelle-Calédonie. Une étude s'intéresse aux possibilités d'exploiter les anguilles de certains cours d'eau calédoniens (Pöllabauer, 1999b). L'abondance relative des anguilles a été estimée par station d'échantillonnage, extrapolée ensuite à la rivière. Certaines rivières présentent un potentiel intéressant, néanmoins ces premiers résultats ne permettent pas une extrapolation fiable quant à l'ouverture d'une pêche commerciale.

Les principales espèces de poissons d'eau douce de Nouvelle-Calédonie, dont celles d'un intérêt pour la pêche sportive et la pêche de subsistance (*Anguilla marmorata*, *A. reinhardtii*, *Micropterus salmoides*, *Oreochromis mossambicus*, *Kuhlia rupestris*, *Eleotris melanosoma*, *Ophiocara porocephala*, *Ophiocara* sp., *Oxyeleotris* sp., *Megalops cyprinoides*, *Cestraeus plicatilis*) sont répertoriées dans un prospectus de vulgarisation édité par la Province Sud (1997). La pêche sportive en eau douce est essentiellement pratiquée sur les espèces *Micropterus salmoides*, *Kuhlia rupestris*, *Megalops cyprinoides* et *Cestraeus plicatilis*.

Certains poissons ont été introduits dans un but spécifique. C'est le cas des deux espèces de Poeciliidae introduites pour la lutte antimoustique car elles se nourrissent des larves de moustique. Une autre espèce de Poeciliidae, *Xiphophorus hellerii*, a sans doute été introduite accidentellement par un aquariophile. Les Cichlidae ont été introduits pour la pêche et pour servir de poissons de fourrage à l'achigan à grande bouche, introduit dans le lac de Yaté pour la pêche sportive.

II.3.1.7 Teneurs en métaux des poissons

Les recherches hors Nouvelle-Calédonie ont permis d'obtenir des publications concernant six différentes études.

Bradley et Morris (1986) ont analysé la teneur en cuivre, nickel et zinc dans les sédiments de 10 lacs dans le Nord-est de l'Ontario (de la région de Sudbury) et dans différents tissus (de muscle, de foie et de reins) de plusieurs espèces de poissons (*Micropterus dolomieu*, *Salvelinus namaycush*, *Perca flavescens*, *Stizostedion vitreum*, *Esox lucius*, *Coregonus clypeaformis* et *Catostomus commersoni*). Ces lacs de la région de Sudbury présentent de forts taux de métaux (nickel, cuivre, zinc) dans les sédiments superficiels dus à une exploitation minière à proximité (hauts-fourneaux). Seule l'espèce *Salvelinus namaycush*, collectée dans 3 des 10 lacs échantillonnés, a été retenue pour une analyse des tissus du rein. Le tableau 10 présente les principaux résultats.

Tableau 10 : Teneurs en Cu, Zn et Ni de différents tissus de poissons (Source : Bradley et Morris, 1986)

	Concentration moyenne en $\mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec		
	Muscle	Foie	Rein
Cuivre	0,5 – 1,4	5 - 185	5,0 – 9,0
variations significatives intraspécifique et intrastations	non	oui	non
Zinc	10 – 45	80 – 170	105 – 130
variations significatives intraspécifique et intrastations	non	non	non
Nickel (valeurs des cas détectables et analysés (<i>P. flavescens</i>))	2,8 - 3,4	2,2 - 2,9	105 - 166

Le tissu musculaire s'est révélé être un pauvre indicateur d'une contamination du milieu par ces métaux. Les tissus du foie sont des bons indicateurs de la concentration en cuivre tandis que les tissus du rein sont des bons indicateurs de la concentration en nickel.

L'accumulation des teneurs en cuivre dans le foie ainsi qu'en nickel dans le foie et les reins de certains poissons renforce l'hypothèse selon laquelle les populations ichthyologiques ont été stressées par les additions de métaux lourds dans les habitats aquatiques (Bradley et Morris, 1986). Alors que la teneur en métal dans les sédiments est un bon indicateur de la pollution des lacs, elle n'est pas pour autant un indicateur satisfaisant de la disponibilité de ces métaux pour les poissons. Certains paramètres de la qualité de l'eau (alcalinité, DCO) semblent influencer la disponibilité biologique et la bioaccumulation de ces métaux, en particulier le cuivre, au cours de longues expositions.

La sensibilité relative des premiers stades de trois espèces commercialisées à neuf types de contaminants inorganiques est présentée (Buhl et Hamilton, 1991). Il s'agit des espèces suivantes : l'ombre arctique *Thymallus arcticus*, le saumon Coho *Oncorhynchus kisutch* et la truite arc-en-ciel *Onchorynchus mykiss*. Les inorganiques retenus sont l'argent, l'arsénite, le cadmium, le chrome hexavalent, le mercure, le nickel, l'or, le sélénite et le sélénate. Le classement par ordre de toxicité décroissante est le suivant : cadmium, argent, mercure, nickel, or, arsénite, sélénite, sélénate et chrome hexavalent.

Dans 89% des cas, le stade juvénile des trois espèces étudiées est plus sensible à ces métaux que le stade alevin. Parmi les juvéniles, aucune espèce n'a semblé être plus sensible que les autres à ces inorganiques; parmi les alevins, l'ombre est généralement plus sensible que le saumon et la truite. À partir de ces résultats, les estimations de concentrations de toxicité de l'arsenic et du mercure sont comparables à celles trouvées dans les cours d'eau soumis à une influence minière, en Alaska. Ce n'est pas le cas pour le

cadmium, le chrome, l'or, le nickel, le sélénium et l'argent. Ainsi, l'arsenic et le mercure semblent pouvoir présenter un danger pour les ombres et les saumons habitant les rivières affectées par une activité minière.

L'impact du mélange de nickel et chrome sur les protéines de tissus musculaires et du foie de l'espèce *Cyprinus carpio*, pendant et après le frai, a été étudié (Virk et Kaur, 1999). Des individus d'un poids de 40 g +/- 2.5 g ont été exposés, dans un aquarium de 150 l, à deux types de mélange d'eau contenant du chrome et du nickel : un dont la concentration est « sans danger » (7.5 mg Ni/l + 10.0 mg Cr/l) et un second de concentration sublétales (15.0 mg Ni/l + 20 mg Cr/l). Les individus se sont révélés plus sensibles durant la phase de frai que pendant la période suivant le frai, et ce, quel que soit le mélange utilisé. En effet, une plus grande détérioration des tissus de chair et de foie a été en effet observée pendant le frai. Il faut souligner que le mélange de concentration sublétales cause de plus grandes lésions que celui de concentration « sans danger ». Le mélange de nickel et de chrome semble être plus toxique que chaque métal pris séparément, ce qui indique un effet synergique de ces métaux, en terme de toxicité.

À partir de tests en laboratoire, la toxicité des ions libres des métaux lourds nickel et cuivre et celle de leurs métaux de transition liés aux branchies de poissons ont été comparées (Meyer et al., 1999). La liaison du nickel et du cuivre aux branchies du poisson Tête de boule (*Pimephales promelas*) permet de prédire une toxicité quand la dureté de l'eau varie alors que la concentration en ions libres reste constante. Ce ligand s'est révélé de toxicité plus aiguë que celle impliquée par la concentration des métaux libres. Cette approche du modèle de ligand biotique pourrait aider à établir des bases pour la régulation de la teneur en métaux des cours d'eau.

Mwase et al. (1998) ont testé les effets des sédiments de la rivière Kafue sur quelques espèces de poissons tropicaux *Danio rerio* (zebrafish), *Tilapia rendalli* et *T. mariae*. La rivière Kafue se situe dans une importante zone d'exploitation minière (cobalt, cuivre, zinc, plomb et or). Les sédiments semblent piéger plusieurs polluants issus des activités humaines et certains métaux (cuivre et cobalt) se retrouvent à de hautes concentrations dans les tissus des poissons. La toxicité des différents polluants a été évaluée à partir d'un test de microtoxicité sur des bactéries et de tests d'exposition des trois espèces de poissons tropicaux à différentes charges de sédiments, provenant de trois localisations différentes le long de la rivière. Les œufs de zebrafish ont été exposés, la fréquence et le temps moyen d'éclosion ainsi que la durée moyenne de survie ont été mesurés. Une autre expérimentation a été menée avec les adultes de zebrafish : au bout de 28 jours d'exposition, la concentration en cuivre dans l'eau et dans les tissus des poissons encore en vie a été mesurée. Des tests similaires ont été réalisés sur les alevins et adultes des deux espèces de tilapias. Le test de microtoxicité a permis de mettre en évidence une toxicité décroissante des sédiments en cuivre avec l'éloignement des sites de production minière. Ces résultats ont été retrouvés dans les tests différents. Le stade larvaire est apparu plus sensible au cuivre que le stade adulte. La toxicité du cuivre se traduit par un retard du processus de maturation menant à l'éclosion, par le développement de réactions biologiques et pathologiques (lésions au niveau des branchies et du foie, aucun individu des stades juvéniles n'a survécu à cette exposition).

La rivière Kafue a aussi fait l'objet d'un suivi environnemental (Norrgren et al., 2000). Plusieurs méthodes basées sur des essais *in situ* ont été évaluées dans le cadre de la réalisation d'un diagnostic environnemental permettant de promouvoir une gestion durable des ressources aquacoles de cette rivière. Des échantillons d'eau ont été analysés. Des Tilapias, *Oreochromis andersonii*, provenant d'une ferme expérimentale non soumise aux influences minières, ont été choisis pour l'expérimentation car cette espèce existe à l'état sauvage dans la rivière Kafue. Les poissons ont été disposés dans des cages aux différentes stations. Ces cages permettaient le contact avec les sédiments du fond. L'exposition a duré deux semaines, les poissons ont ensuite été prélevés et tués pour effectuer des analyses sur les tissus du foie et des branchies. Une rapide bioaccumulation

de plusieurs éléments comme le cadmium, le cobalt, le cuivre, le chrome et le nickel a été observée (tableau 11). Les plus importantes modifications histopathologiques ont été enregistrées dans le tissu hépatique des poissons des stations directement en aval de la zone minière. Ces transformations se caractérisaient par une accumulation de lipides et des zones de nécrose cellulaire. Les différents métaux ont été retrouvés dans les échantillons d'eau, et en concentration beaucoup plus importante pour les échantillons provenant de stations en aval de la mine que pour ceux de stations en amont du site minier.

Tableau 11 : Concentration moyenne des éléments de trace et déviations standards (en µg/g poids sec) dans les branchies et le foie du tilapia *Oreochromis andersonii* dans la rivière Kafue (Zambie) (Norrgrén, 1999)

		Cadmium	Cobalt	Cuivre	Chrome	Fer	Magnésium	Nickel
Station 1	Branchies	0,3±0,02	3,0±0,6	115±30	0,5±0,20	490±49	1220±160	0,4±0,10
Station 2	Branchies	0,3±0,10	21,0±2,4	170±30	0,7±0,40	400±49	1670±150	1,5±0,30
Station 1	Foie	1,9±0,30	8,1±0,9	4700±840	0,03±0,03	1800±740	500±35	0,17±0,05
Station 2	Foie	4,4±0,80	74,0±5,9	9700±810	0,16±0,01	6000±2700	770±34	1,40±0,30

En Nouvelle-Calédonie, aucune publication ne traite de ce sujet. Néanmoins, l'étude de caractérisation menée en 2000 sur le site de Goro Nickel (Rescan, 2000) a montré que les concentrations en métaux dans les tissus musculaires des poissons des rivières échantillonnées étaient du même ordre que les concentrations trouvées dans les poissons de rivière en dehors de la Nouvelle Calédonie. Par contre, les échantillons de tissus de crevette récoltés présentaient des concentrations en arsenic, cadmium, cuivre et plomb sensiblement plus élevée comparé aux concentrations trouvées dans les tissus des poissons échantillonnés. Dans le cas du cadmium, les différentes espèces de crevette semblent avoir des concentrations différentes de cadmium dans leur tissu, *Macrobrachium caledonicum* ayant le taux le plus faible et *M. lar* le taux le plus élevé. Globalement, il semble que les crevettes échantillonnées soient plus exposées aux métaux ou moins capable d'évacuer les excès de métaux comparativement aux poissons échantillonnés. Ces concentrations plus élevées sont possiblement dues aux temps de résidence plus élevé des crevettes dans l'eau douce par rapport aux poissons échantillonnés (*Cestraeus plicatilis*) *C. plicatilis* passe en effet une partie de son cycle de vie dans l'océan et peut retourner en mer une fois par an pour frayer.

II.3.2 Macroinvertébrés d'eau douce

II.3.2.1 Historique des études

En Nouvelle Calédonie, les invertébrés aquatiques des rivières sont mal connus. Les premières investigations effectuées sur cette faune donnèrent lieu à une série de publications dans la revue *Nova Caledonia* (Sarasin et Roux, 1913-1926). Suivirent plusieurs missions scientifiques menées par des équipes de chercheurs étrangers dans le but d'accroître les connaissances sur la faune tropicale des cours d'eau. Il est ainsi possible de citer l'expédition menée en 1958 par une équipe de chercheurs du Muséum d'Osaka, Japon (Satô, 1966), la mission autrichienne de l'Université de Vienne de 1965 dirigée par le Professeur Starmühlner (Starmühlner, 1968) et celle entreprise en 1972 par le Professeur Peters de l'Université de Tallahassee, Floride (Peters, 1981). Ces missions permirent la collecte de nombreux invertébrés aquatiques à des stades larvaires et adultes. Cette faune fut envoyée à différents spécialistes pour des études taxinomiques et phylogénétiques (Peters, 1981).

Des études ponctuelles consacrées à un groupe particulier d'invertébrés ont également été réalisées. Deux familles de Mollusques Gastéropodes, les Neritidae et les Hydrobiidae, ont ainsi été spécifiquement étudiées respectivement par Pöllabauer (1986) et Haase & Bouchet (1998). Enfin, des prélèvements sont effectués de temps à autre par des chercheurs de passage sur le Territoire.

L'étude la plus importante a été réalisée par Mary (1999) dans le cadre d'une étude de caractérisation physico-chimique et biologique des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie. Quarante et une stations situées sur 14 rivières réparties sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie ont été périodiquement échantillonnées d'octobre 1996 à octobre 1997. Cette étude indique que la macrofaune benthique des rivières calédoniennes est dominée par les Insectes. Sur l'ensemble des espèces d'Insectes aquatique connues, plus de 75% d'entre elles seraient endémiques à la Nouvelle-Calédonie. Plus spécifiquement, l'endémisme est proche de 100% chez les éphéméroptères et les Trichoptères et de 40% chez les Odonates, les Hétéroptères et les Coléoptères.

Les milieux les plus propices au développement de la macrofaune benthique et qui présentent la diversité spécifique maximale sont les ruisseaux forestiers. A l'opposé, les cours d'eau drainant des péridotites altérées et éloignées de toute occupation humaine se caractérisent par des peuplements benthiques moins diversifiés et moins abondants dus à leurs faibles teneurs en matières organiques. En outre, certains taxons présentent un endémisme générique et spécifique lié au substrat péridotitique à l'instar des insectes terrestres. L'étude de la relation entre la faune et son milieu confirme que l'occupation des sols, la végétation rivulaire et la nature géologique des bassins versants représentent les principaux facteurs expliquant la répartition et la distribution de la macrofaune benthique des rivières.

L'étude menée a par ailleurs mis en évidence d'importantes lacunes taxinomiques et une disparité de la connaissance des invertébrés aquatiques de Nouvelle-Calédonie. En effet, au total, moins de 250 espèces ont été décrites jusqu'ici. Certains groupes tels que les Ephéméroptères ou les Trichoptères sont bien étudiés. D'autres, en revanche, comme les Diptères, ont peu fait l'objet de recherches.

II.3.2.2 Composition spécifique

Les spongiaires

Quatre espèces de spongiaires sont signalées dans les eaux douces de Nouvelle-Calédonie : 2 espèces, *Spongilla diahoti* et *Spongilla raceki*, sont endémiques ; 2 espèces, *Spongilla crassissima* et *Ephydatia multidentata*, ont une large répartition respectivement en Inde et en Australie (Rützler, 1968).

Les vers

Hirudinées

Une espèce endémique a été recensée sur le territoire : *Glossosiphonia novocalaedoniae* (Starmühlner, 1986).

Oligochètes

Deux genres communs existent en Nouvelle-Calédonie : *Naïs* et *Limnodrilus* (Starmühlner, 1986).

Turbellariés

D'après Beauchamp (1968), deux espèces de Planaires existent dans les eaux douces de Nouvelle-Calédonie. L'une d'elle très commune sur la Grande Terre, *Dugesia pinguis*, se trouve également en Australie et en Nouvelle-Zélande (Kawakatsu, 1969). L'autre *Geocentrophora* sp. aurait été prélevée à un seul endroit de la Grande Terre (Grand Lac) à 250 m d'altitude (Beauchamp, 1968).

Les mollusques (Annexe III)

La classe des Gastéropodes se compose en Nouvelle-Calédonie de 19 genres et de 90 espèces de Prosobranches (Starmühlner, 1970 ; Pöllabauer, 1986). Cinquante six d'entre elles appartenant à la famille des Hydrobiidae ont récemment été inventoriées (Haase & Bouchet, 1998). Les Pulmonés présentent 3 genres et 4 espèces.

Les bivalves sont presque totalement absents des eaux douces de Nouvelle-Calédonie. Une seule espèce de la famille des Mytilidae a été recensée : *Modiolus bourailiensis* (Cockerel, 1923) (Starmühlner, 1976 ; Haynes, 1985).

Les arthropodes

Arachnides

Regroupe les araignées aquatiques et les acariens représentés par la famille des Hydracarinidés et le genre *Aspidobates* (5 espèces endémiques)

Crustacés

On distingue deux groupes principaux : les crustacés planctoniques (cladocères et copépodes) et les espèces benthiques (amphipodes et surtout crevettes).

Les cladocères

Ils sont représentés par le genre *Penilia*, très abondant, et le genre *Chydorus*, plutôt rare (renseignement non publié de M. Gozzi, SODACAL).

Les copépodes

Ils sont représentés par les genres *Eucyclops*, *Centropages*, *Oithona*, *Goniocyclops*, *Phyllognathopus*, *Parastenocaris*, *Thermocyclops*, *Microcyclops*, *Tropocyclops*.

Les amphipodes

Ils sont représentés par les genres *Orchestria* (avec 2 espèces endémiques), *Talitrus* (avec 1 espèce endémique) et *Paracalliope* (avec 1 espèce endémique) (Ruffo & Vesentini paiotta, 1972).

Les crevettes et les crabes (Annexe IV) constituent l'essentiel du groupe benthique. Suivant leur âge et la saison, elles interviennent à différents niveaux de la chaîne trophique. Elles sont omnivores mais carnassières par prédilection. Leur nourriture se compose de mollusques, trichoptères et autres insectes. Elles peuvent également être détritivores et nécrophages mais aussi herbivores.



Paratya caledonica

Dix-sept espèces d'Atyidae appartenant à 5 genres ont été inventoriés en Nouvelle-Calédonie (Roux, 1926 ; Kamita, 1967 ; Holthuis, 1969). Quatre nouvelles espèces des genres *Paratya* et *Caridina* sont en cours de description (Mary, 1999). Près de la moitié de ces espèces sont endémiques à la Nouvelle-Calédonie, soit 10 espèces sur les 21 connues. Parmi les autres espèces, 4 présentent une répartition Pacifique et 7 une répartition Indo-Pacifique (Mary, 1999).

Au niveau des Palaemonidae, 10 espèces du genre *Macrobrachium* et 2 espèces du genre *Palaemon* ont été décrites (Roux, 1926 ; Short & Marquet, 1998). L'espèce *Macrobrachium gracilirostre*, à large répartition dans le Pacifique, a récemment été recensée (Mary, 1999). Sur ces 11 espèces connues, une seule du genre *Macrobrachium* est endémique à la Nouvelle-Calédonie (Mary, 1999).



Macrobrachium caledonicum

Une espèce endémique de la famille des Alpheidae et une autre de la famille des Goneplacidae ont également été recensées.

L'espèce endémique *Varuna litterata* seule représentante de la famille des Grapsidae a également été décrite.



Odiomaris pilosus

Enfin, une espèce d'Hymenosomatidae, *Odiomaris pilosus*, a été décrite par Ng & Richer de Forges (1996).

Insectes (Annexe V)

Les insectes, et plus particulièrement leurs larves, constituent l'essentiel des macroinvertébrés aquatiques. En Nouvelle-Calédonie, les insectes sont représentés par 8 ordres : les Ephéméroptères, les Odonatoptères, les Hétéroptères, les Coléoptères, les Trichoptères, les Lépidoptères, les Diptères et les collembolés. Tous les auteurs indiquent un taux d'endémisme assez élevé chez ces insectes aquatiques. Aucun représentant des ordres des Planninnes, des Mégaloptères ou des Hyménoptères n'a jusqu'à présent été mentionné, ce qui est peu étonnant puisque ces trois ordres renferment peu d'espèces aquatiques. L'absence de Plécoptères est également à noter. Il s'agit là d'une des caractéristiques du peuplement du Territoire (Mary, 2000).

Les Ephéméroptères

La faune des Ephéméroptères de Nouvelle-Calédonie est originale puisqu'elle se compose presque exclusivement d'espèces d'une seule famille : les Leptophlebiidae. Trente huit

espèces ont été répertoriées (Peters *et al.*, 1978 ; Peters & Peters, 1980 ; Peters & Peters, 1981 a et b ; Peters *et al.*, 1990 ; Peters *et al.*, 1994, Peters & Peters, 2000). Des espèces du genre *N. gen. 4* sont actuellement en cours de description (Peters, comm. Pers.). De plus, deux autres genres (*N. gen. A* et *N. gen. B*) ont été répertoriés en Nouvelle Calédonie par Mary (1999). Toutes les espèces et les genres sont endémiques à la Nouvelle-Calédonie.

Les Odonates

Les larves et les adultes d'Odonates ont fait l'objet de descriptions précises (Lieftinck, 1975 ; Lieftinck, 1976). Le sous-ordre des zygoptères (Demoiselles) est représenté par 4 familles : les Lestidae, les Megapodagrionidae, les Isostictidae et les Coenagrionidae, comprenant au total 10 genres et 18 espèces. Les Anisoptères (Libellules) sont représentées par 4 familles cosmopolites : les Aeschnidae, les Corduliidae, les Synthemistidae et les Libellulidae qui regroupent 13 genres et 23 espèces.

Sur ces 41 espèces, 16 sont endémiques au Territoire (Lieftinck, 1975). Les 25 autres espèces ont une large répartition dans le Pacifique : sur l'ensemble d'entre elles, 14 sont retrouvées au Vanuatu, 15 en Australie, 12 en Papouasie, 6 aux Iles Salomon et 8 aux Iles Fidji (Lieftinck, 1975).

L'étude de Mary (1999) a également permis la découverte de deux nouveaux genres prélevés au niveau des cours d'eau de la côte Nord-est (Panié, Tao) et à Pouembout. Deux espèces nouvelles appartenant au genre *Simulacala* ont également été recensées sur la Confiance et la Pouembout.

Les Hétéroptères

En Nouvelle-Calédonie, cet ordre est représenté par 10 familles : les Belostomatidae, les Corixidae, les Notonectidae et les Pleidae présentant des espèces semi-aquatiques et les Gerridae, les Hydrometridae, les Veliidae et les Mesoveliidae présentant des espèces vivant à la surface de l'eau (Géocorises). L'ordre comprend 13 genres et 22 espèces connues (Polhemus & Herring, 1970).

Les Coléoptères

Six familles de Coléoptères ont été inventoriées en Nouvelle-Calédonie : les Dytiscidae, les Gyrinidae, les Hydraenidae, les Hydrophilidae, les Curculionidae et les Helodidae. Celles-ci comprennent au total 16 genres et 17 espèces (Satô, 1966 ; Ochs, 1968 ; Bertrand, 1968 ; Mary, 1999)

Les Trichoptères

Dix familles de Trichoptères sont connues en Nouvelle-Calédonie : les Hydroptilidae, les Helicopsychidae, les Hydrobiosidae, les Hydropsychidae, les Leptoceridae, les Philopotamidae, les Kokiriidae, les Ecnomidae, les Helicophidae et les Polycentropodidae (Mary, 1999). Cent onze espèces correspondant à 23 genres ont été recensées. À l'exception de deux Hydroptilidae qui auraient été introduites, toutes les espèces de Trichoptères sont endémiques à la Nouvelle-Calédonie (Mary, 1999).

Les Diptères

Cet ordre d'insectes est le mieux représenté de la macrofaune benthique mais contrairement aux Trichoptères dont les larves et les nymphes sont essentiellement aquatiques, de nombreuses familles de diptères possèdent des représentants à la fois en milieu aquatique et en milieu terrestre. Des études taxinomiques se rapportent à des espèces de familles qu'il est possible de trouver dans les eaux douces : par exemple, celles entreprises par Trojan (1991) sur les Tabanidae, par Meuffels & Grootaert (1991) sur les Dolichopodidae, par Clastrier (1988), Clastier & Delécolle (1991), Clastier (1993) sur les Ceratopogonidae. Les descriptions concernent dans chaque cas des spécimens adultes capturés dans un milieu

strictement terrestre et souvent à proximité d'un cours d'eau. Il est alors difficile de savoir si les espèces prélevées sont strictement terrestres, semi-aquatiques ou aquatiques.

L'étude de Mary (1999) a permis d'inventorier des espèces des familles suivantes : Chironomidae, Limoniidae (avec les sous-familles Limoniinae, Eriopterinae et Hexatominæ), Dixidae, Psychodidae (représentées par des Psychodini et de Telmatoscopini), Empididae, Syrphidae, Ephydriidae, Blephariceridae et Tabanidae. Ces familles, cosmopolites, sont largement représentées dans les eaux européennes, néo-zélandaises et australiennes.

Une seule espèce de Simuliidae, *Simulium neonartipes* Dumbleton 1969, très fréquente et abondante, a été recensée sur la Grande Terre. Celle-ci, ainsi que l'espèce *S. ornatipes* très répandue en Australie et en Papouasie Nouvelle-Guinée, ont été classées dans le sous-genre *Nevermannia* (Crosskey, 1988). Elles sont chacune composées de deux espèces jumelles (Bedo, 1977) et seraient apparentées aux espèces du groupe *S. ruficorne* trouvées en Afrique (Bedo, 1989).

II.3.3 Les connaissances à l'échelle du Projet Goro Nickel

II.3.3.1 Les rivières du secteur de Goro

Ichtyofaune

Globalement, les communautés de poisson des rivières du secteur de Goro sont caractérisées par des densités faibles, une proportion élevée d'espèces endémiques et une proportion également élevée d'espèces catadromes (espèces qui frayent en eau salée).

En 1995, une première étude de caractérisation de l'environnement a été réalisée par SNC-Lavalin. L'investigation a été menée uniquement sur la rivière Kwé. L'espèce observée le plus fréquemment était le mulot noir (*Liza neocaledonicus*)¹. La carpe aux gros yeux (*Kuhlia rupestris*) était également abondante. Un goby non identifié a également été observé (SNC-Lavalin, 1995).

L'étude d'impact environnementale conduite par SNC-Lavalin sur les rivières Kwé, Wadjana et Trou Bleu entre novembre 1993 et octobre 1996 a permis de capturer un total de 19 espèces de poissons, dont neuf avec un statut taxonomique indéterminé à cette époque (SNC-Lavalin, 1997).

De janvier 1996 à décembre 1998, divers travaux sur l'ichtyofaune ont été menés par Erbio sur les rivières Kwé, Wadjana, Trou Bleu et le creek de la Baie Nord. Un total de 26 espèces de poissons appartenant à 11 familles ont été prélevées au cours de cette période. Trois des espèces trouvées sont endémiques y compris *Protogobius attiti* dans la rivière Trou Bleu (Pöllabauer, 1999a). Une étude approfondie du Creek de la Baie Nord a également été réalisée entre 1996 et 2004. Vingt neuf espèces de poissons, dont 4 espèces endémiques (*Schismatogobius fuligimentus*, *Ophieleotris nsp*, *Sicyopterus sarasini* et *Protogobius attiti*) et deux espèces vulnérables inscrites sur la liste rouge de l'UICN (*Eleotris melanosoma* et *Redigobius bikolanus*) ont été recensées (Pöllabauer & Bargier, 2004).

L'étude de caractérisation menée par Rescan sur les rivières Kwé, Kuebini, Wadjana, Trou bleu, Creek de la Baie Nord et rivière Carénage, au cours de la campagne d'avril à août 2000, a permis de capturer 14 espèces de 9 familles. Un total de 4 espèces endémiques a été capturé sur l'ensemble des sites. Une espèce introduite (*Oreochromis mossambicus*) a été prélevée sur un seul site. En ce qui concerne les autres espèces, la carpe à queue jaune (*Kuhlia munda*) a été prélevée en plus grand nombre entre avril et août, tandis que la carpe aux gros yeux (*Kuhlia rupestris*) était le poisson le plus largement distribué, ayant été échantillonné sur un total de 7 sites d'avril à août. D'après les analyses de lipides et de métaux effectuées sur les poissons, ceux-ci semblent être en bonne santé, avec une concentration raisonnable en lipides dans leur tissu. (Rescan, 2000).

Le tableau 12 présente la composition spécifique pour chaque rivière, selon les différentes études menées par SNC-Lavalin (1997), Pöllabauer (1999, 2004) et Rescan (2000). Un total de 39 espèces a été recensé.

Macoinvertébrés

Peu de données ont été récoltées sur les invertébrés aquatiques à l'intérieur de la zone d'impact du projet. .

¹ L'espèce *Liza neocaledonicus* n'existe pas. Il s'agit probablement de *Cestraeus plicatilis*

Tableau 12 : Ichtyofaune recensée dans les rivières du secteur de Goro

Famille	Espèce	Répartition	Rivière Kwé	Rivière Wadjana	Rivière Trou bleu	Creek de la Baie Nord	Rivière Kuebini	Rivière Carénage
ACANTHURIDAE	<i>Acanthurus blochii</i>					(4)		
ANGUILLIDAE	<i>Anguilla australis</i>	Pacifique				(4)		
	<i>Anguilla marmorata</i>	Indo-Pacifique	(1) (2)	(1) (2)	(1) (2)	(4)		
	<i>Anguilla megastoma</i>	Pacifique		(2)	(2)	(4)		
	<i>Anguilla obscura</i>	Pacifique		(2)	(2)	(4)		
	<i>Anguilla reinhardti</i>	Pacifique	(1) (2)	(1) (2)	(1) (2)	(4)	(3)	
APOGONIDAE	<i>Apogon amboinensis</i>	Pacifique		(2)				
CARCHARHINIDAE	<i>Carcharhinus Leucas</i>	Indo-Pacifique	(2)					
CICHLIDAE	<i>Oreochromis mossambicus</i>	Introduit			(3)			
ELEOTRIDAE	<i>Eleotris fusca</i>	Indo-Pacifique				(4)		
	<i>Eleotris melanosoma</i>	Indo-Pacifique	(2) (3)	(1) (2)	(1) (2) (3)	(3) (4)	(3)	(3)
	<i>Ophieleotris aporos.</i>	Indo-Pacifique	(2)	(2)	(2)	(4)		
	<i>Ophiocara porocephala</i>	Indo-Pacifique		(2)				
GERREIDAE	<i>Gerres filamentosus</i>	Indo-Pacifique				(4)		
GOBIIDAE	<i>Awaous guamensis</i>	Pacifique	(1) (2) (3)	(1) (2) (3)	(1) (2)	(3) (4)		(3)
	<i>Glossogobius celebius</i>	Pacifique				(4)		
	<i>Periophthalmus argentilineatus</i>	Indo-Pacifique	(2)	(2)	(2)	(4)		
	<i>Redigobius bikolanus</i>	Pacifique			(2) (3)	(3) (4)	(3)	(3)
	<i>Redigobius chrysosoma</i>	Pacifique			(2)	(2)		
	<i>Schismatogobius fuligimentus</i>	Endémique				(3) (4)		(3)
	<i>Sicyopterus lagocephalus</i>	Indo-Pacifique				(4)		
	<i>Sicyopterus sarasini</i>	Endémique	(2)	(2)	(2)	(3) (4)	(3)	(3)
	<i>Sicyopterus sp.</i>	-		(2)	(2)			
	<i>Stenogobius yateiensis</i>	Endémique		(2)	(3)	(2)		
KUHLIDAE	<i>Kuhlia marginata</i>	Pacifique	(2)	(1) (2)	(1) (2)	(4)		
	<i>Kuhlia munda</i>	Pacifique	(2)	(1) (2)	(1) (2) (3)	(3) (4)	(3)	(3)

Famille	Espèce	Répartition	Rivière Kwé	Rivière Wadjana	Rivière Trou bleu	Creek de la Baie Nord	Rivière Kuebini	Rivière Carénage
KUHLIDAE (SUITE)	<i>Kuhlia rupestris</i>	Indo-Pacifique	(1) (2) (3)	(1) (2)	(1) (2) (3)	(3) (4)	(3)	(3)
LUTJANIDAE	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	Indo-Pacifique	(2)		(3)	(4)		
	<i>Lutjanus russelli</i>	Indo-Pacifique				(4)		
MICRODESMIDAE	<i>Parioglossus neocaledonicus</i>	Endémique		(2)				
MORINGUIDAE	<i>Moringua microchir</i>	Indo-Pacifique						(3)
MUGILIDAE	<i>Cestraeus oxyrhynchus</i>	Pacifique	(1) (2)			(4)		
	<i>Cestraeus plicatilis</i>	Pacifique	(1) (2) (3)	(1) (2)	(1) (2) (3)	(3) (4)	(3)	(3)
	<i>Crenimugil crenilabis</i>	Indo-Pacifique				(4)		
RHYACICHTHYDAE	<i>Protogobius attiti</i>	Endémique	(2)		(2)	(3) (4)	(3)	(3)
SPARIDAE	<i>Acanthopagrus berda</i>	Indo-Pacifique				(4)		
SPHYRAEIDAE	<i>Sphyraena barracuda</i>	Cosmopolite				(4)		
SYNGNATHIDAE	<i>Microphis brachyurus brachyurus</i>	Indo-Pacifique		(1) (2)				
TERAPONIDAE	<i>Terapon jarbua</i>	Indo-Pacifique	(2)			(4)		
TOTAL ESPECES			16	19	20	31	8	10
TOTAL ESPECES ENDEMIQUES			2	3	3	4	2	3

(1) Espèces recensées entre décembre 1995 et octobre 1996 (SNC Lavalin, 1997)

(2) Espèces recensées entre janvier 1996 et décembre 1998 (Pöllabauer, 1999a)

(3) Espèces recensées entre avril et août 2000 (Rescan, 2000)

(4) Espèces recensées de 1996 à 2004 (Pöllabauer & Bargier, 2004)

En raison des techniques de prélèvement employées (pêche électrique ou au filet) l'échantillonnage des communautés s'est limité pour la plupart des études aux plus grands organismes de macroinvertébrés, sans distinction entre les organismes en dérive et les organismes benthiques. L'aspect quantitatif n'a été pris en compte que lors de la dernière étude menée en 2001.

L'étude de caractérisation menée en 1995 a échantillonné 3 stations sur la rivière Kwé pour les invertébrés aquatiques. Seulement 3 invertébrés ont été récoltés, un gastéropode non identifié, un pagure et une espèce non identifiée de *Macrobrachium* (SNC-Lavalin 1995)

L'étude d'impact environnementale conduite en 1996 a permis de collecter un certain nombre d'invertébrés, principalement l'espèce de crevette d'eau douce *Macrobrachium* (SNC-Lavalin 1997). Au niveau de la rivière Kwé principale et de la Kwé ouest, *M. aemulum* et *M. caledonicum* ont été trouvées. *Macrobrachium aemulum*, *M. caledonicum*, *M. lar* et *M. latimanus* ont été trouvées dans le cours inférieur de la rivière Trou Bleu avec le crabe d'eau douce *Varuna litterata*. *Macrobrachium aemulum* et *M. lar* ont également été trouvées dans le cours inférieur de la rivière Wadjana.

Durant les études menées de 1996 à 2004 par Erbio, 11 espèces d'invertébrés de trois familles ont été trouvés dans la Kwé, la Trou Bleu, la Wadjana et le Creek de la Baie Nord. Les invertébrés trouvés comprennent 4 espèces de *Macrobrachium* de la famille des Palaemonidae (*lar*, *aemulum*, *caledonicum* et *latimanus*) ; 4 espèces de la crevette *Paratya* (*bouvieri*, *caledonica*, *intermedia* et *typa*) et deux espèces de la crevette *Caridina* (*imitatrix* et *novaecaledoniae*) toutes de la famille des Atyidae ; et deux espèces de crabe d'eau douce (*Odiomaris pilosus* et *Varuna litterata*)

Par ailleurs, lors de la dernière campagne menée en 2004 sur le Creek de la Baie-Nord, les insectes ont fait l'objet d'un prélèvement afin d'avoir une idée des taxons présents sans rechercher une définition précise de la communauté.

Trois espèces endémiques ont été trouvées :

- La famille des Helicopsychidae, un trichoptère à fourreau ressemblant à une coquille à enroulement hélicoïdal,
- L'éphéméroptère *Lepeorus* sp., relativement fréquent sur le territoire calédonien,
- La larve de libellule *Synthemis* sp, bien présente sur la zone d'étude.

(Pöllabauer, 1999a et Pöllabauer et Bargier, 2004).

L'étude de caractérisation menée en 2000 par Rescan a permis d'échantillonner le tronçon principal de la rivière Kwé et la rivière Carénage. Cette étude a tenu compte de la composition taxonomique et de l'abondance des invertébrés aquatiques en différenciant les organismes en dérive des organismes benthiques. Deux indices de biodiversité ont été calculés : l'indice de Shannon-Weiner et l'indice de Simpson. Globalement, l'abondance des organismes en dérive était moins élevée dans la rivière Kwé que dans la rivière Carénage. La composition taxonomique des communautés de dérivants était variable et unique pour chaque site échantillonné. La diversité de ces communautés n'a pu être calculée sûrement devant l'incapacité d'identifier de nombreux organismes après le niveau taxonomique de la famille. Comme chaque site héberge au moins un groupe unique d'organismes en dérive, les communautés en dérive apparaissent variables et uniques avec une abondance globalement faible (Rescan, 2000).

La composition taxonomique des insectes aquatiques et des mollusques récoltés dans les rivières du secteur de Goro est présentée respectivement dans les tableaux 13 et 14.

Tableau 13 : Macroinvertébrés recensés dans les rivières du secteur de Goro

Groupe/espèce	Rivière Kwé	Rivière Carénage
NEMATODES		
Nématode indéterminé		X
ANNELIDES OLIGOCHETES		
Tubificidae		
<i>Ilyodrilus sp.</i>		X
Lumbriculidae		
Lumbriculidae sp1		X
ARACHNIDES		
Acariens		
Hydracarina sp.1		X
Hydracarina non identifiée	X	
CRUSTACES		
Ostracodes		
Cyclocypridae indéterminé		X
Isopodes		
Asellidae non identifié	X	
INSECTES		
Ephéméroptères		
Heptageniidae non identifié	X	X
Heptageniidae sp.1	X	X
Leptophlebiidae non identifié		X
Trichoptères		
<i>Cheumatopsyche sp.</i>	X	
Economidae sp.1		X
Economidae non identifié	X	
Hydropsychidae non identifié	X	
Hydroptilidae non identifié	X	
Hydroptilidae indéterminé		X
Hydroptilidae sp.1	X	X
Hydroptilidae sp.2	X	X
nr. <i>Macrostemum sp.</i>	X	X
nr. <i>Oxyethira sp.</i>		X
Trichoptère indéterminé		X
Odonates		
Libellulidae non identifié		X
Coléoptères		
Elimidae sp.1	X	
Elimidae sp.2	X	
Coléoptère indéterminé		X
Diptères		
Empididae		
Empididae non identifié	X	
Simuliidae		
<i>Simulium sp.</i>		X
Chironomidae		
Chironomidae indéterminé		X
Chironomidae (dam.) non identifié		X
Chironomidae non identifié	X	
Tanypodinae		
<i>Ablabesmyia sp.</i>		X
Chironominae		
Chironominae sp.1	X	X
<i>Cladotanytarsus sp.</i>		X
<i>Harnischia sp. complex</i>	X	
<i>Kiefferulus sp.</i>		X
<i>Polypedilum sp.</i>	.	X
Tanytarsini indéterminé		X
nr. <i>Stenochironomus sp.</i>	X	X
<i>Tanytarsus sp.</i>		X
Orthocladinae		
<i>Nanocladius sp.</i>		X
<i>Orthocladus sp.</i>		X
Ceratopogonidae		
<i>Dasyhelea sp.</i>		X

X : Macroinvertébrés recensés en mai 2000 (Rescan, 2000)

Tableau 14 : Crustacés décapodes recensés dans les rivières du secteur de Goro

Famille	Espèce	Répartition	Rivière Kwé	Rivière Wadjana	Rivière Trou bleu	Creek de la Baie Nord	Rivière Kuebini	Rivière Carénage
ATYIDAE	<i>Caridina imitatrix</i>		(2)	(2)	(2)			
	<i>Caridina novaecaledoniae</i>		(2)	(2)	(2)			
	<i>Paratya bouvieri</i>		(2)	(2)	(2)	(3)		
	<i>Paratya caledonica</i>		(2)	(2)	(2)			
	<i>Paratya intermedia</i>		(2)	(2)	(2)			
	<i>Paratya typa</i>		(2)	(2)	(2)			
GEOCARCINIDAE	<i>Odiomaris pilosus</i>				(2)			
GRAPSIDAE	<i>Varuna litterata</i>				(1)	(3)		
PALAEMONIDAE	<i>Macrobrachium aemulum</i>		(1) (2)	(1) (2)	(1) (2)	(3)		
	<i>Macrobrachium caledonicum</i>		(1) (2)		(1) (2)	(3)		
	<i>Macrobrachium latimanus</i>				(1) (2)			
	<i>Macrobrachium lar</i>			(1) (2)	(1) (2)	(3)		

(1) Espèces recensées entre décembre 1995 et octobre 1996 (SNC Lavalin, 1997)

(2) Espèces recensées entre janvier 1996 et décembre 1998 (Pöllabauer, 1999)

(3) Espèces recensées de 1996 à 2004 (Pöllabauer & Bargier, 2004)

II.3.3.2 Les lacs et les dolines du secteur de Goro

Ichtyofaune

Très peu de travaux ont été réalisés sur les communautés de poissons des lacs de Nouvelle Calédonie. Les travaux réalisés se sont limités à l'observation de quelques poissons. D'une manière générale, peu de poissons sont présents dans ces milieux en partie à cause de la

faible biomasse de producteurs primaires et secondaires, mais aussi à cause de la nature temporaire de plusieurs lacs dans ce secteur.

Au cours de l'étude de caractérisation de 1995, SNC-Lavalin a échantillonné le Lac en Huit et le Grand Lac. Dans les deux lacs, seul *Galaxias neocalidonicus*, une espèce endémique de poisson, a été observé. (SNC-Lavalin, 1995)

Au cours de l'inventaire faunistique de la doline de l'usine pilote de Goro Nickel de 1999, Erbio a observé un petit poisson. Ce poisson observé à 2 reprises était probablement l'espèce introduite *Oreochromis mossambicus* ou un goby (*Awaous guamensis*), espèce autochtone commune. Le déversoir attenant présentait les caractéristiques d'un milieu lotique avec la présence de 3 espèces de poissons : *Oreochromis mossambicus*, *Kuhlia rupestris* et *Anguilla reinhardtii*. (Pöllabauer, 1999c).

L'étude de caractérisation menée par Rescan indique que les lacs échantillonnés présentent généralement un habitat propice pour les poissons avec une couverture adéquat composée de végétaux, de rochers et de débris végétaux. Très peu de poissons ont été observés. Seuls 2 poissons, probablement des anguilles ont été observés dans un seul lac.

Macoinvertébrés

Peu de travaux ont été réalisés sur les communautés benthiques des lacs et dolines de la région de Goro. Les travaux réalisés se limitent souvent à la capture accidentelle d'organismes benthiques dans les filets lors de la récolte de poisson ou d'observation d'invertébrés en plongée. Ces méthodes limitent l'échantillonnage aux plus grands et aux plus remarquables organismes et sont seulement de nature qualitative.

La première étude de caractérisation des communautés dulçaquicoles des zones cibles a été réalisée en 1995 (SNC LAVALIN, 1995). Au cours de cette étude, aucun invertébré benthique n'a été observé ou capturé dans l'un ou l'autre du Lac en Huit ou du Grand Lac. Cependant, il a été indiqué que des traces de reptation et de déjections ont pu être observées sur le fond indiquant la présence d'espèces vivantes, amphipodes notamment dans le Lac en Huit et le Grand Lac.

La doline de l'usine pilote de Goro Nickel, le déversoir, le creek de la baie nord ont fait l'objet d'un premier inventaire faunistique en 1999 puis des études de suivi de l'impact annuel ont été réalisés en 2000, 2001, 2002 et 2004 permettant de suivre l'évolution des composantes faunistiques en rapport avec les modifications du milieu. 46 espèces ont été répertoriées dont 11 espèces endémiques. Deux autres plans d'eau permanents ont été identifiés comme site de référence (DINCO1 et DINCO2). Leur inventaire a permis de redécouvrir l'espèce de coléoptère endémique *Megaporus* jusqu'à présent uniquement connue de la doline de l'usine pilote où elle n'a plus été observée depuis 2001. Deux dolines périodiques ont également été échantillonnées. Leur inventaire a permis de redécouvrir le conchostracé *Lynceus*, qui depuis sa découverte en mai 2000, n'avait plus été observé vivant (Pöllabauer, 1999c, 2000, 2002 et 2004).

L'étude de caractérisation menée par Rescan en 2000 a permis d'échantillonner 6 lacs. Seuls trois lacs (FW19, FW20 et FW22) présentaient des sédiments adéquats pour supporter une communauté d'invertébrés benthiques. Malgré un large degré de variabilité entre les sites échantillonnés, les données collectées au cours de cette campagne indiquent la présence de communautés benthique en bonne santé dans les lacs offrant un substrat adéquat. Oligochètes et diptères dominent les communautés benthiques dans les 3 lacs. (Rescan, 2000).

Les résultats sont présentés tableaux 15 et 16

Tableau 15 : Macroinvertébrés recensés dans la doline de l'usine pilote et dans les dolines de référence DINCO1 et DINCO2

Taxons	Espèce	Statut	Doline Usine pilote	DINCO1	DINCO2
Mollusques	<i>Physastra nasuta</i>	E	X	X	X
Arachnides	Espèce indéterminée	?	X		
	Araneae non déterminé	A			X
	Lycosidae	?	X		
Acariens	<i>Aspidobates sp.1</i>	?	X		
	<i>Aspidobates sp.2</i>	?	X		
	<i>Aspidobates sp.3</i>	?	X		
	<i>Aspidobates sp.4</i>	?	X		
Hétéroptères	<i>Anisops cleopatra</i>	A	X	X	X
	<i>Anisops hyperion</i>	A	X	X	X
	<i>Anisops occipitalis</i>	A	X		
	<i>Notonecta indéterminé</i>	?	X		
	<i>Anisops sp. 1</i>	?	X		
	<i>Anisops sp.2</i>	?	X		
	<i>Anisops sp.3</i>	?	X		
	<i>Hydrometra aculeata</i>	E	X		
	Veliidae	?	X		
	<i>Limnogonus fossarum</i>	A	X		X
	<i>Limnogonus luctuosus</i>	A	X		
	<i>Limnogonus sp.</i>	A	X	X	
	<i>Mesovelia sp.</i>	E	X		
Trichoptères	<i>Ecnomidae ?</i>	E	X		
Ephéméroptères	<i>Leptophlebiidae, Lepeorus sp.</i>	E	X		
	<i>Celiphlebia ?</i>	E	X		
Odonates	<i>Aechna brevistyla</i>	A	X	X	X
	<i>Synthémis sp.1</i>	E	X		
	<i>Synthémis sp.2</i>	E	X		
	<i>Synthémis sp.3</i>	E	X		
	<i>Tramea liberata liberata</i>	A	X		
	<i>Tramea transmarina intersecta</i>	A	X	X	X
	<i>Caledargiolestes uniseris</i>	E	X		
	Coenagrionidae	?	X		
	<i>Hemicordulia sp.</i>	?			X

Taxons	Espèce	Statut	Doline Usine pilote	DINCO1	DINCO2
Odonates (suite)	<i>Lestes sp.</i>	A	X		X
	<i>Isostica sp.</i>	E	X		
	Zygoptère	?		X	
Coléoptères	<i>Gyrinus convexiusculus</i>	A	X	X	X
	<i>Dineutus australis</i>	A	X	X	
	<i>Gyrinus sp.</i>	A	X		
Dytiscidae	<i>Hyphydrus elegans</i>	A	X		X
	<i>Cybister tripunctatus</i>	A	X		
	<i>Cybister tripunctatus ? (larve)</i>	?	X		
	<i>Megaporus nsp.</i>	E	X	X	X
	<i>Hydaticus quadrivittatus</i>	A	X		
	<i>Rhantaticus congestus</i>	A	X		
	<i>Laccophilus seminiger</i>	A	X		
	<i>Onychohydrus scutellaris</i>	A	X		X
	<i>Eretes australis</i>	A	X		
Hydrophilidae	<i>Hydrophilus australis</i>	A	X		
	<i>Hydrophilus sp.</i>	A	X		
Conchostraca	<i>Lynceus nsp.</i>	E		X	

E : espèce endémique à la Nouvelle-Calédonie

?: espèce au statut indéterminé à ce jour

A : espèce autochtone

I : espèce introduite

X : Présence de l'espèce

D'après Pöllabauer & Bargier, 2004

Tableau 16 : Macroinvertébrés recensés dans les rivières du secteur de Goro

Groupe/espèce	Rivière Kwé	Rivière Carénage
NEMATODES		
Nématode indéterminé		X
ANNELIDES OLIGOCHETES		
Tubificidae		
<i>Ilyodrilus sp.</i>		X
Lumbriculidae		
Lumbriculidae sp1		X
ARACHNIDES		
Acariens		
Hydracarina sp.1		X
Hydracarina non identifiée	X	
CRUSTACES		
Ostracodes		
Cyclocypridae indéterminé		X
Isopodes		
Asellidae non identifié	X	
INSECTES		
Ephéméroptères		
Heptageniidae non identifié	X	X
Heptageniidae sp.1	X	X
Leptophlebiidae non identifié		X
Trichoptères		
<i>Cheumatopsyche sp.</i>	X	
Economidae sp.1		X
Economidae non identifié	X	
Hydropsychidae non identifié	X	
Hydroptilidae non identifié	X	
Hydroptilidae indéterminé		X
Hydroptilidae sp.1	X	X
Hydroptilidae sp.2	X	X
nr. <i>Macrostemum sp.</i>	X	X
nr. <i>Oxyethira sp.</i>		X
Trichoptère indéterminé		X
Odonates		
Libellulidae non identifié		X
Coléoptères		
Elimidae sp.1	X	
Elimidae sp.2	X	
Coléoptère indéterminé		X
Diptères		
Empididae		
Empididae non identifié	X	
Simuliidae		
<i>Simulium sp.</i>		X
Chironomidae		
Chironomidae indéterminé		X
Chironomidae (dam.) non identifié		X
Chironomidae non identifié	X	
Tanypodinae		
<i>Ablabesmyia sp.</i>		X
Chironominae		
Chironominae sp.1	X	X
<i>Cladotanytarsus sp.</i>		X
<i>Harnischia sp. complex</i>	X	
<i>Kiefferulus sp.</i>		X
<i>Polypedilum sp.</i>	.	X
Tanytarsini indéterminé		X
nr. <i>Stenochironomus sp.</i>	X	X
<i>Tanytarsus sp.</i>		X
Orthocladinae		
<i>Nanocladius sp.</i>		X
<i>Orthocladus sp.</i>		X
Ceratopogonidae		
<i>Dasyhelea sp.</i>		X

X : Macroinvertébrés recensés en mai 2000 (Rescan, 2000)

III. BIBLIOGRAPHIE

Allen G.R., 1991. Field guide to the freshwater fishes of New Guinea. Publication n°9. *Christensen Research Institute*, Papua New Guinea. 268 p.

Arrignon J., 1991. Aménagement piscicole des eaux douces (4e édition). *Technique et Documentation Lavoisier*, Paris. 631p.

Atlas de Nouvelle-Calédonie, 1992. *Editions du Cagou*. 91p.

Balfour-Browne J., 1939. New and rare species of aquatic Coleoptera from New Caledonia. Dytiscidae and Palpicornia. *Ann. Mag. Nat. Hist. Ser.* 2-3: 370-376.

Beauchamp, 1968. Turbellariés d'eau douce de Nouvelle Calédonie. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrobiol.*, Vol. II n°1, pp. 67-68.

Bedo D.G., 1977. Cytogenetics and evolution of *Simulium ornatipes* Skuse (Diptera: Simuliidae). I. *Sibling speciation*. *Chromosoma* (Berl.) 64, 37-65.

Bedo D.G., 1989. A cytological study of *Simulium ruficorne* (Diptera : Simuliidae) and its relationships to the *S. ornatipes* species complex. *Genome* 32, 570-579.

Bertrand H., 1968. VI. Larves de coléoptères aquatiques de Nouvelle-Calédonie. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrobiol.* II (1), 75-82.

Blouin M. & Bergeron C., 1997. Dictionnaire de la réadaptation, tome 2 : termes d'intervention et d'aides techniques. Québec : *Les Publications du Québec*, 164 p.

Bradley R.W., Morris, J.R., 1986. Heavy metals in fish from a series of metal-contaminated lakes near sudbury, Ontario. *Water, Air and Sol Pollution* 27. D. *Reidel Publishing Company*. pp. 341-354.

Buhl K.J., Hamilton S.J., 1991. Relative sensitivity of early stages of Arctic Grayling, Coho Salmon and Rainbow Trout to nine inorganic. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 22. *Academic Press*. pp. 184-197.

Castelnau F. de, 1873. Contribution to the ichthyology of Australia, VII. Fishes of New Caledonia, *Proceedings of the Zoological Acclimatation Society of Victoria*, 2 : 110.

Catala R., 1950. Etude préliminaire sur les constituants ichtyofaunistiques du cours moyen des rivières néo-calédoniennes, sur l'intérêt alimentaire de certains d'entre eux et sur les modes de pêches s'y rapportant. Octobre. pp.260-267.

Clastrier J., 1988. Diptères ceratopogonidae de Nouvelle-Calédonie. 6. Note sur le genre *Dasyhelea*. In : Tillier S. (ed), *Zoologia Neocaledonica 1. Mem. Mus. Natn. Hist. Nat.* (A) 142, 75-82.

Clastrier J., 1993. Diptera Ceratopogonidae de Nouvelle-Calédonie. 10. Genre *Monohela*. In : Matile L., Najt J. & Tillier S. (eds) *Zoologia Neocaledonica 3. Mem. Mus. Natn. Hist. Nat.* 157, 157-164.

Clastrier J. & Delécolle J.-C., 1991. Diptera Ceratopogonidae de Nouvelle-Calédonie. 8. Genre *Forcipomyia*. In : Chazeau J. & Tillier S. (eds) *Zoologia Neocaledonica 2. Mem. Mus. Natn. Hist. Nat.* (A) 149, 177-231.

Conseil Supérieur de la Pêche, 2003. *Eaux libres* - n°34/35 - septembre 2003

Crosskey R.W., 1988. Black fly species of the world: an annotated checklist of the world black flies (Diptera: Simuliidae). In: Kim K.C. & Merritt R.W. (eds) Black flies: ecology, population management an annotated world list. *Penn. State Univ. Press*, University Park, 425-520.

Earle T., Callaghan T., 1998. Impacts of mine drainage on aquatic life, water uses, and man-made structure. In Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania. DEP, Chap. 4, 11 p.

ETEC, 2003. Caractérisation des zones humides – Rapport final. Pour la province Sud, Direction des Ressources Naturelles, Service Environnement. 89p.

ERBIO, 2000. Habitat description – Fish communities and Trophic relations per type of habitat. 21p.

Gabriel C., 1995. L'Etat de l'environnement dans les territoires français du Pacifique sud. La Nouvelle-Calédonie. *Ministère de l'Environnement ed.*, 115 p.

Gargominy, O., P. Bouchet, M. Pascal, T. Jaffré & C. Tourneur, 1996. Conséquences des introductions d'espèces animales et végétales sur la biodiversité en Nouvelle-Calédonie. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, vol. 51. pp. 375-402.

Goro Nickel, 2004. Etude d'impact. Effets environnementaux du Projet. Tome3 Volume 3. 38p.

Haase M. & Bouchet P., 1998. Radiation of crenobiontic gastropods on an ancient continental island: the Hemistomia-clade in New Caledonia (Gastropoda: Hydrobiidae). *Hydrobiologia* 367, 43-129.

Haynes A., 1985. The ecology and local distribution of non-marine aquatic gastropodes in Viti-Levu, Fiji. *The Veliger* 28 (2), 204-210.

Holthius L.B., 1969. Etudes hydrobiologiques en Nouvelle-Calédonie (Mission 1965 du Premier Institut de Zoologie de l'Université de Vienne). IX. The freshwater shrimps of New Caledonia. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.* III (2), 87-108.

Hungerford H.B., 1938. A new Hydrometra from New Caledonia and Australia. *Pan. Entomol.* 14: 81-83.

Ittis, J., 1987. Les travaux de protection contre l'érosion en Nouvelle-Calédonie : luxe ou nécessité ? Actes des journées de géographie tropicale "Les aménagements liés à l'eau". *Comité National Français de Géographie*, Paris. 24 p.

Ittis, J., 1990. La mine, élément de la controverse écologique dans le Pacifique Sud. *Espace géographique*, Paris. 18 p.

Ittis, J., M.J. Crozier, 1987. Conséquences géomorphologiques des crues cycloniques en Nouvelle-Calédonie : le cas de la rivière de Népoui. In : Comité National Français de Géographie, Commission d'Hydrologie Continentale, Université Louis Pasteur, C.E.R.E.G. éd. *Actes du Colloque "Crues et Inondations"*. Strasbourg. pp. 261-278.

Johanson K.A., 1999. Seventeen new Helicopsyche from New Caledonia (Trichoptera, Helicopsychidae). *Tijdschrift voor entologie* 142: 37-64.

- Johanson K.A., 2002. A new species of the New Caledonian endemic genus *Xanthochorema* Kimmins, 1953 (Insecta: Trichoptera: Hydrobiosidae). *Zootaxa* 42: 1-6.
- Johanson K.A., 2003. Revision of the New Caledonian genus *Mecynostomella* (Trichoptera, Kokiriidae). *Zootaxa* 270: 1-24.
- Johanson K.A., 2003. Phylogenetic analysis of the genus *Helicopha* Mosely (Trichoptera: Helicophidae), with description of five new species from New Caledonia. *Insect Syst. Evol.* 34: 131-151.
- Johanson K.A. & Scheffer P.W., 1999. Taxonomic survey of the New Caledonian species of *Helicopsyche* described by H. H. Ross (Trichoptera: Helicopsychidae). *Entomologica scandinavica* 30: 1-29.
- Johanson K.A. & Mary N., 2000. *Helicopsyche trispina* sp.n. (Insecta, Trichoptera, Helicopsychidae) from New Caledonia. *Aquatic Insects* 23 (4): 315-322.
- Johanson K.A. & Ward J.B., 2001. Four new species and a new genus of trichoptera (Helicophidae) from New Caledonia. *New Zealand Journal of Zoology*. Vol. 28: 247-255.
- Jouan H., 1861. Note sur quelques espèces de poissons de la Nouvelle-Calédonie. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles de Cherbourg*, 8 : 241-308
- Jouan H., 1863. Note sur quelques animaux observés à la Nouvelle-Calédonie, pendant les années 1861 et 1862. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles de Cherbourg*, 9 : 89-127.
- Jouan H., 1877. Quelques mots sur la faune ichthyologique de la côte Nord-est d'Australie et du détroit de Torrès, comparée à celle de la Nouvelle-Calédonie. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles de Cherbourg*, 21 : 328-335.
- Kamita T., 1967. Some shrimps and prawns from New Caledonia. *Bull. Osaka Museum Nat. Hist.* 20, 1-10.
- Kawakatsu M., 1969. Report on freshwater and land planarians from New Caledonian. *Bull. Osaka Museum Nat. Hist.* 22, 1-14.
- Keith P., Watson R.E., Marquet G., 2000. Découverte d'*Awaous ocellaris* (Broussonet, 1782) (Perciformes, Gobiidae) en Nouvelle-Calédonie et au Vanuatu et conséquences biogéographiques. *Cybium*, 24(4) : 395-400.
- Keith P., Vigneux E., Marquet G., 2002a. Atlas des poissons et crustacés d'eau douce de la Polynésie française. *Patrimoines naturels*, (MNHN), 55 :1-175.
- Keith P., Watson R.E., Marquet G., 2002b. *Stenogobius (Insularigobius) yateiensis*, une nouvelle espèce de gobie dulçaquicole de Nouvelle-Calédonie. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 364/187-196.
- Kelley R.W., 1989. New species of micro-caddisflies (Trichoptera : Hydroptilidae) from New Caledonia, Vanuatu and Fiji. *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 91 (2), 190-202.
- Kimmins D.E., 1936. Odonata, Ephemeroptera and Neuroptera of the New Hebrides Banks Islands. *Ann. Mag. Nat. Hist.* 18: 68-88.

Kimmins D.E., 1953. Miss L.E. Cheesman's expedition to New Caledonia, 1949. Orders Odonata, Ephemeroptera, Neuroptera and Trichoptera. *Ann. Mag. Nat. Hist.* 12 (6), 241-257.

Kusser J., 1970. Enquête sur la pêche à la crevette d'eau douce – Circonscription Forestière de la côte Est.

Laboute P., Grandperrin R., 2000. Poissons de Nouvelle-Calédonie. *Editions Catherine Ledru, Nouméa*. 520 p.

Lewis A.D., Hogan A.E., 1987. L'énigmatique double de roche – Les travaux récents fournissent quelques réponses. *Lettre d'information sur les pêches* 40 : pp. 22-31.

Lieftinck M.A., 1975. The dragon flies (Odonata) of New Caledonia and the Loyalty islands. Part I. Images. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.* IX (3), 127-166.

Lieftinck M.A., 1975. The dragonflies (Odonata) of New Caledonia and the Loyalty islands. Part II. Immature stages. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.* X (3), 165-200.

McDowall R.M., 1990. New Zealand freshwater fishes, a natural history and guide. Heinemann Reed, New Zealand. 553 p.

McDowall R.M., 1992. Exploring New Caledonia for freshwater fishes. *Freshwater Catch* 49. pp. 21-23.

Malavoi J.R., 1989. Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. *Bulletin français de la Pêche et de la Pisciculture*, 315, 189-210.

Malicky H., 1981. Eine neue *Chimarra* aus Neukaledonien (Trichoptera: Phiopotamidae). *Revue Suisse Zool.* 88 (2), 341-342.

Marquet G., Mary N., 1997. A selection of new caledonian freshwater fishes of interest. In: ORSTOM, Nouméa, NCL (éd) – 5th Indo-Pacific fish conférence 03-08 november 1997: abstract. P. 63.

Marquet G., Séret B., Lecomte-Finiger R., 1997. Inventaires comparés des poissons des eaux intérieures de trois îles océaniques tropicales de l'Indo-Pacifique (La Réunion, La Nouvelle-Calédonie et Tahiti). *Cybium* 21 (1) suppl. pp. 27-34.

Marquet G., Keith P. et Vigneux E., 2001a. Rapport intermédiaire sur les crustacés et les poissons d'eau douce de la Province Sud. Direction des Ressources Naturelles de la Province Sud, 82p.

Marquet G., Keith P. et Vigneux E., 2001b. Inventaire des crustacés et des poissons d'eau douce de la Province Nord. Direction du Développement Economique de la Province Nord, 88p.

Marquet G., Keith P. et Vigneux E., 2002. Inventaire des crustacés et des poissons d'eau douce des îles Loyauté. Service Topographie et Environnement, 15p.

Marquet G., Keith P. et Vigneux E., 2003. Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce de Nouvelle Calédonie. *Patrimoines Naturels*, 58 : 282p.

Mary N., 1999. Caractérisations physico-chimique et biologique des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie - Proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés benthiques. Thèse Dr.Univ . française du Pacifique. 181p.

Mary N., 2000. Guide pratique d'identification des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau. 92p.

Mary N., Marquet G., Chauvet C., 1997. Early results from trophic relationships between some fish and benthic macroinvertebrates in new caledonian freshwaters. *In* : ORSTOM, Nouméa, NCL (éd) 5th Indo-Pacific fish conference 03-08 november 1997: abstracts. P. 65.

Mary N. & Ward J.B., 2001. Descriptions of the larvae and adults of three new species of *Triplectides* (Trichoptera: Leptoceridae) from New Caledonia. *Aquatic Insects* 23(3): 219-231.

Meuffels H.J.G. & Grootaert P., 1991. Diptera Dolichopodidae of New Caledonia 1. *Antyx*, a new genus in the subfamily Sympycninae. *In*: Chazeau J. & Tillier S. (eds), *Zoologia Neocaledonica* 2. *Mem. Mus. Natn. Hist. Nat.* (A) 149, 289-300.

Meyer J.S., Santore R.C., Bobbitt J.P., Debrey L.D., Boese C.J., Paquin P.R., Allen H.E., Bergman H.L., Ditoro D.M., 1999. Binding of Nickel and Copper to fish gills predicts toxicity when water hardness varies, but free-ion activity does not. *Environmental Science & Technology* 33,6. *American Chemical Society*. pp. 913-916.

Mwase M., Viktor T., Norrgren L., 1998. Effects on tropical fish of soil sediments from Kafue River, Zambia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61, 1. *Springer-Verlag New York*. pp. 96-101.

Neboiss A., 1986 (a). Taxonomic changes in caddis-fly species from the South-West Pacific Australian Region with descriptions of new species (Insecta: Trichoptera). *Memoirs of Museum of Victoria* 47 (2), 213-223.

Neboiss A., 1986 (b). Atlas of Trichoptera of the South West Pacific. Australian region. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, 286 p.

Nelson J.S., 1984. *Fishes of the world* (2nd edition). John Wiley and Sons, Inc., USA. 523p.

Ng P.K.L. & Richer de Forges B., 1996. The Hymenosomatidae (Crustacea: Decapoda: Brachyura) of New caledonia, with description of two new genera and two new species. *Memoirs of the Queensland Museum* 39 (2), 263-276.

Norrgren L., Pettersson U., Örn S., Bergqvist P.-A., 2000. Environmental monitoring of the Kafue River, located in Copperbelt, Zambia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 38. *Springer-Verlag New York*. pp. 334-341.

Ochs G., 1968. V. Gyrinidae (Col.) von Neukaledonien. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.* II (1), 69-74.

Ogilby J.D., 1897. A contribution to the zoology of New Caledonia. *Proceedings of the Linnean Society of N.S. Wales*, 22(4): 762-770.

Peters W.L., 1981. Zoogeography of selected aquatic insects in New Caledonia. *National Geographic Society Research Reports* 13, 493-496.

Peters W.L., Peters J.G. & Edmunds G.F., 1978. The Leptophlebiidae of New Caledonia (Ephemeroptera). Part I – Introduction et systematics. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.* 7 (2), 97-117.

Peters W.L. & Peters J.G., 1980. The Leptophlebiidae of New Caledonia (Ephemeroptera). Part II – Systematics. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.* XIII (1-2), 61-82.

Peters W.L. & Peters J.G., 1981a. The Leptophlebiidae: Atalophlebiinae of New Caledonia of New Caledonia (Ephemeroptera). Part III – Systematics. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14(3), 233-243.

Peters W.L. & Peters J.G., 1981b. The Leptophlebiidae: Atalophlebiinae of New Caledonia of New Caledonia (Ephemeroptera). Part IV – Systematics. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14(3), 245-252.

Peters W.L., Peters J.G. & Edmunds G.F., 1990. The Leptophlebiidae: Atalophlebiinae of New Caledonia (Ephemeroptera). Part V: Systematics. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 23(2): 124-140.

Peters W.L., Peters J.G. & Edmunds G.F., 1994. The Leptophlebiidae: Atalophlebiinae of New Caledonia (Ephemeroptera). Part VI: Systematics. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 27 (2): 97-105.

Peters W.L. & Petters J.G., 2000. The Leptophlebiidae: Atalophlebiinae of New Caledonia (Ephemeroptera). Part VII: Systematics. *Annals. Limnol.* 36 (1): 31-55.

Polhemus J.T. & Herring J.L., 1970. Etudes hydrobiologiques en Nouvelle-Calédonie (Mission 1965 du Premier Institut de zoologie de l'Université de Vienne). X. Aquatic and semi-aquatic hemiptera of New Caledonia. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.* IV (2), 3-12.

Pöllabauer C., 1986. Beitrag zur Taxonomie, Biologie und Ökologie mixohaliner polymorpher Neritiden (Archegastropoda, Mollusca). Thèse Dr., Univ. Wien. 184p.

Pöllabauer C, 1992. Etude de gestion rationnelle de la faune aquacole, I. Bases de connaissances et inventaire 1 des rivières de la Province Sud. Agence concept, pour Province Sud NC, service de l'environnement. 102p.

Pöllabauer C, 1995. Etude de gestion rationnelle de la faune aquacole, II. Inventaire 2 des rivières de la Province Sud. Agence concept, pour Province Sud NC, service de l'environnement. 8p.

Pöllabauer C, 1997a. Etude de gestion rationnelle de la faune aquacole, III. Poissons de rivière de Nouvelle-Calédonie. Les espèces d'un intérêt halieutique. Erbio, pour Province Sud NC, Service de l'environnement. 45p.

Pöllabauer C, 1997b. Conserving the freshwater fish fauna of New Caledonia. In : ORSTOM, Nouméa, NCL (éd) – 5th Indo-Pacific fish conférence 03-08 november 1997 : abstracts. P.83.

Pöllabauer C, 1999a. Le milieu fluviolacustre de 4 rivières dans le sud de la Grande Terre : Kwé, Trou Bleu, Wadjana et Creek de la Baie Nord. Etude d'impact. *Erbio*.

Pöllabauer C, 1999b. Faune ichthyologique et carcinologique de Nouvelle-Calédonie. Rapport final de l'inventaire des cours d'eau de la Province Sud. Erbio, pour la Province Sud NC, Direction des Ressources Naturelles. Juillet. 183p.

Pöllabauer C, 1999c. Inventaire faunistique de la doline de l'usine pilote Goro Nickel et du réservoir. *Erbio*.

Pöllabauer C, 2000. Inventaire faunistique de la doline de l'usine pilote Goro Nickel et du réservoir. *Erbio*.

Pöllabauer C, 2002. Inventaire faunistique de la doline de l'usine pilote, du réservoir et du creek de la baie Nord. *Erbio*.

Pöllabauer C & Bargier N., 2004. Etude de suivi de l'impact d'un site pilote d'extraction minière sur la faune aquatique de la doline de l'usine pilote, du Creek de la Baie Nord et du Déversoir. *Erbio*.

Province Sud, 1997. Poissons d'eau douce de Nouvelle-Calédonie. Prospectus. *Concept*.

Ramade F., 1998. Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau – Biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales – *Ediscience internationale*. 786p.

RESCAN, 2000. Goro Nickel Project, New Calédonia : Supplemental Baseline Technical Report : Freshwater Environment. Prepared by RescanTM Environmental services Ltd., Vancouver, Canada, for Hatch and Associates Ltd., Mississauga, Ontario. October 2000.

Ross H.H., 1975. A preliminary report on the Helicopsychidae (Trichoptera) of New Caledonia. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.* IX (2), 67-80.

Roux J., 1926. Crustacés décapodes d'eau douce de la Nouvelle-Calédonie. *In* : Sarasin F. & Roux J., *Nova Caledonia* 4 (2), 181-240.

Ruffo S. et Vesentini Paiotta G., 1972. Etudes hydrobiologiques en Nouvelle-Calédonie, Anfipodi (crust). Della Nuova Caldonica. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.*, vol. VI, n°3-4.

Rützler K., 1968. Freshwater sponges from New Caledonia. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.* Vol. II, n°1, pp. 57-66.

Sarasin, F. & Roux, J., 1913-1926. Nova Caledonia. A. Zvols. 1-4. C. W. Kreidel's Verlay Wiesbaden, Berlin, München.

Satô, F., 1966. Some species of aquatic Coleoptera from New Caledobia. *Bulletin of the Osaka Museum of National History* 19, 1-8.

Scheffer P.W. & Ward J.B., 2002. Revision of the New Caledonian endemic genus *Caledopsyche* (Trichoptera: Hydropsychidae: Hydropsychinae), with the description of five new species. *Records of Canterbury Museum* 16: 18-31.

Schmid F., 1989. Les Hydrobiosides (Trichoptera, Annulipalpia). *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique* 59 supplément, 1-154.

Séret B., 1997. Les poissons d'eau douce de Nouvelle-Calédonie: implications biogéographiques des récentes découvertes. *In* : *Zoologica neocaledonica*, 171(4) : 369-378

Séret B., Dingerkus G., 1992. First record of the rare snake-eel *Lamnosta kampeni* (Teleostei : Anguilliformes, ophichthidae) from a river in northeastern New Caledonia. *Cybium*, 16(2): 169-170.

Short J. & Marquet G., 1998. New records of freshwater Palaemonidae (Crustacea: Decapoda) from New Caledonia. *Zoosystema* 20 (2), 401-410.

SNC-Lavallin, 1995. Goro Nickel Project, New Caledonia Environmental Baseline Study Report.

SNC-Lavalin, 1997. Goro Nickel Project Bankable Feasibility Study Report, Volume 7.

Starmühlner, F., 1968. Etudes hydrobiologiques en Nouvelle-Calédonie (Mission 1965 du Premier Institut de Zoologie de l'Université de Vienne). Généralités et descriptions des stations. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrobiol.* II (1) : pp. 3-33.

Starmühlner F., 1970. Etudes hydrobiologiques en Nouvelle-Calédonie (Mission 1965 du Premier Institut de Zoologie de l'Université de Vienne). Die Mollusken der neukaledonischen Binnengewässer (les mollusques d'eau douce et saumâtre de Nouvelle-Calédonie). *Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol.*, IV (3-4), 127p.

Sykora J., 1967. Trichoptera collected by Prof. J. Illies in New Guinea and New Caledonia. *Pacific Insects* 9 (4), 585-595.

Trojan P., 1991. Diptera Tabanidae de Nouvelle-Calédonie. Révision des Diachlorini et nouvelles données sur les taons. *In* : Chazeau J. & Tillier S. (eds), *Zoologia Neocaledonica* 2. *Mem. Mus. Natn. Hist. Nat. (A)* 149, 251-257.

Virk S., Kaur K., 1999. Impact of mixture of nickel and chromium on the protein content of flesh and liver of *Cyprinus carpio* during spawning and post-spawning phases. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 63. *Springer-Verlag New York*. Pp. 499-502.

Walford T., Pease B., 2000. Strategies and techniques for sampling adult anguillid eels. Proceedings of a workshop held at FRI, Cronulla, August 1999. Fisheries research Report Series: 5. *SW Fisheries Research Institute*. 176p.

Ward J.B., 2001. Descriptions of two new caddis species (Trichoptera: Leptoceridae) in the genera *Gracilipsodes* and *Symphitoneuria*, from New Caledonia. *Records of Canterbury Museum* 15: 73-82.

Ward J.B. & Mary N.J., 2000. *Xanthochorema paniensis* (Trichoptera, Hydrobiosidae) species from upland New Caledonia. *Aquatic Insects* 22(1): 71-76.

Ward J.B. & Scheffer P.W., 2000. A new genus and twenty new species of New Caledonian Ecnomidae (Trichoptera). *Records of Canterbury Museum* 14: 55-87.

Watson R.E., 1992. A review of the gobiid fish genus *Awaous* from insular streams of the Pacific Plate. *Ichtyol. Explor. Freshwaters* 3 (2)/ pp. 161-176.

Watson R.E., Pöllabauer C., 1998. A new genus and species of freshwater goby from New Caledonia with a complete lateral line – *Senckenbergiana biologica* 77(2). Pp. 147-153.

Watson R.E., Keith P., Marquet G., 2001. *Sicyopus (Smilosicyopus) chloe*, a new species of freshwater goby from New Caledonia (Teleostei: Gobioidi: Sicydiinae). *Cybiurn*, 25(1): 41-52.

Watson R.E., Keith P., Marquet G., 2002. *Lentipes kaaea*, a new species of freshwater goby (Teleostei: Gobioidi: Sicydiinae) from New Caledonia. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 364: 173-185.

Weber M., Beaufort de L.F., 1915. Les poissons d'eau douce de la Nouvelle-Calédonie. *In* Sarasin F. et J. Roux, Nova Caledonia Zoologie, vol. II, pp 3-41. *Kreidels Verlag ed., Wiesbaden*

Wells A., 1995. New Caledonian Hydroptilidae (Trichoptera) with new records, descriptions of larvae and new species. *Aquat. Insect* 17 (4), 223-239.

Weninger G., 1968. Etudes hydrobiologique en Nouvelle-Calédonie (mission 1965 du premier institut de zoologie de l'Université de Vienne) : Beiträge zum chemismus der gewasser von Neukaledonien (SW-Pacific). *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrobiol.* 11(1) 35-55

ANNEXE I : CLASSIFICATION DES HABITATS CORINE- BIOTOPES

ANNEXE I

PRINCIPAUX HABITATS AQUATIQUES NON MARINS SELON LA NOMENCLATURE CORINE-BIOTOPES

21 Lagunes

Eaux côtières salées voire hypersalines, souvent issues d'anciens bras de mer envasés et isolés par un cordon de sable ou de vase.

22 Eaux douces stagnantes

Lacs, étangs et mares d'origine naturelle contenant de l'eau douce. Pièces d'eau douce artificielles, incluant réservoirs et canaux.

22.1 Eaux douces

22.11 Eaux oligotrophes pauvres en calcaire

Eaux claires, habituellement verdâtres à brunâtres, pauvres en bases dissoutes (pH souvent de 3-5)

22.12 Eaux mésotrophes

Eaux plus riches (pH souvent de 6-7).

22.13 Eaux eutrophes

Eaux généralement, gris sale à bleu-verdâtre, plus ou moins turbides, particulièrement riches en bases dissoutes (pH habituellement >7).

22.14 Eaux dystrophes

Eaux acides caractérisées par une teneur en humus élevée, souvent colorées en brun (pH souvent de 3-5).

22.15 Eaux oligo-mésotrophes riches en calcaire

Eaux habituellement très claires, bleues à vertes, pauvres à modérément riches en nutriments, basiques (pH souvent >7.5).

22.2 Galets ou vasières non végétalisés

Fonds ou rivages des lacs non végétalisés et galets ou vases temporairement soumis aux fluctuations naturelles ou artificielles du plan d'eau, souvent importants comme sites d'alimentation des limicoles migrants.

22.3 Communautés amphibies

Communautés macrophytiques adaptées à une alternance d'émergence et d'immersion complète, colonisant les fonds ou les bords des lacs soumis à des exondations temporaires et d'autres bassins vaseux, sableux ou pierreux périodiquement ou occasionnellement inondés.

22.4 Végétations aquatiques

Régions de lacs, d'étangs, de marais ou de canaux occupés par une végétation flottante ou constamment immergée

22.41 Végétations flottant librement

Communautés flottant librement à la surface des eaux, plus ou moins riches en nutriments.

22.42 Végétations enracinées submergées

Formations dominées par des plantes aquatiques immergées, enracinées dont émergent souvent les épis de fleurs;

22.43 Végétations enracinées flottantes

Formations dominées par des plantes aquatiques enracinées avec des feuilles flottantes.

22.5 Masses d'eau temporaires

Pièces d'eau s'asséchant complètement et périodiquement de manière intermittente

23 Eaux stagnantes saumâtres et salées

Lacs, mares et fossés saumâtres, salés et hypersalés.

23.1 Eaux saumâtres ou salées sans végétation

Eau libre sans végétation flottante ou immergée (ou non détectée) autre que des algues.

23.2 Eaux saumâtres ou salées végétalisées

Pièces d'eau abritant une végétation vasculaire immergée ou émergée.

24 Eaux courantes

Toutes les rivières et tous les cours d'eau.

24.1 Lits des rivières

Cours d'eau permanents ou temporaires, et leur communautés associées, pélagiques ou benthiques, d'animaux et d'algues microscopiques. Les subdivisions sont basées sur la pente, la largeur et la température de l'eau en fonction des pratiques habituelles de l'ichtyologie. Les classifications basées sur la végétation, comme celle de Holmes (1983) pour les rivières britanniques donnent des résultats généralement identiques. Pour chacune des divisions ci-dessous, des subdivisions peuvent être introduites pour tenir compte des paramètres morphodynamiques du courant comme l'a proposé, par exemple, Malavoi (1989).

24.11 Crénon

Ruisselets formés dans la zone de source des cours d'eau de montagne et au voisinage de celle-ci, caractérisés par une grande stabilité de température, proche de la moyenne annuelle de celle de la table aquifère

24.12 Epirhitron et métarhitron

Zones supérieures et moyennes des ruisseaux montagnards et collinaires, caractérisées par un débit turbulent, irrégulier, par des variations diurnes et annuelles de température plus grandes que dans le crénon, et, par des biocénoses aquatiques dominées surtout par des turbellaires, des éphéméroptères, des plécoptères, des trichoptères, des diptères, par des bryophytes et des algues bacillariophytées, cyanophycées, rhodophytées et chlorophytées épilithiques, avec un petit nombre de macrophytes immergées spécialisés. L'unité correspond à la "zone à truite" ou "zone à salmonidés" des classifications ichthyologiques européennes.

24.13 Hyporhitron

Zone inférieure des ruisseaux montagnards et collinaires paléarctiques, constituant souvent la zone moyenne des rivières. L'unité correspond à la "zone à ombre" des classifications ichthyologiques européennes.

24.14 Epiopotamon

Zone supérieure des rivières, caractérisée par un débit plus calme, des variations annuelles de température plus fortes et des biocénoses aquatiques comprenant davantage d'espèces lenticques, dont des macrophytes. L'unité correspond à la "zone à barbeau" des classifications ichthyologiques européennes.

24.15 Métopotamon et hypopotamon

Zones moyenne et basse des rivières, avec des biocénoses aquatiques très semblables à celles des eaux stagnantes. L'unité correspond à la "zone à brème" des classifications ichthyologiques européennes.

24.16 Cours d'eau intermittents

Cours d'eau dont l'écoulement est interrompu une partie de l'année, laissant le lit à sec ou avec des flaques ou des mares.

24.17 Chutes d'eau

24.2 Bacs de graviers des cours d'eau

24.21 Bacs de graviers des cours d'eau sans végétation

24.22 Bacs de graviers des cours d'eau végétalisés

24.3 Bacs de sable des rivières

24.31 Bacs de sable des rivières sans végétation

24.32 Bacs de sable des rivières pourvus de végétation

24.4 Végétation immergée des rivières

24.5 Dépôts d'alluvions fluviales limoneuses

Vases alluviales exondées du fait des fluctuations du niveau d'eau des rivières

24.6 Rochers, pavements et blocs des lits de rivières

Roches dures émergeant en permanence des cours d'eau, ou temporairement découvertes par l'abaissement de leur niveau.

ANNEXE II : LISTE DES ESPECES DE POISSONS
REPERTORIEES EN NOUVELLE-CALEDONIE,
REPARTITION ET TYPE D'HABITAT

ANNEXE II

LISTE DES ESPECES DE POISSONS REPERTORIEES EN NOUVELLE-CALEDONIE, REPARTITION ET TYPE D'HABITAT

				Type de plan d'eau où l'espèce a été recensée							Habitat en rivière	Informations complémentaires sur l'utilisation du microhabitat (lorsque disponible)						
				Rivière	Retenue	Lac	Marais	Estuaire	Mangrove	Espèce essentiellement marine avec présence occasionnelle en eau douce		Profondeur	Substrat préférentiel	Utilisation liée à l'hétérogénéité du milieu	Qualité de l'eau			
Famille	Espèce	Répartition	Abondance									Faible (entre 0 et 50 cm), Moyenne (de 50 à 100 cm), Élevée (plus d'un mètre)	Blocs rocheux, roches, gravier, sable, vase	bassins rocheux, dans le substrat, dans l'espace interstitiel du gravier, sous des branches ou bois mort, plantes aquatiques ou herbiers, près des rives	Eau claire	Eau saumâtre	Eau turbide	Riche en matière organique
ACANTHURIDAE	<i>Acanthurus blochii</i>	Indo-Pacifique	N.D.					x										
AMBASSIDAE	<i>Ambassis interruptus</i>	Pacifique	*	x				x	x		I					x		
	<i>Ambassis miops</i>	Pacifique	*	x							IR	F	Blocs rocheux	espace interstitiel des blocs	x			
ANGUILLIDAE	<i>Anguilla australis schmidtii</i> ♦	Pacifique	*	x	x		x	x	x		MR					x		
	<i>Anguilla marmorata</i>	Indo-Pacifique	***	x	x						MV	F,M,E	Blocs, vase	des branches ou bois mort, plantes	x		x	x
	<i>Anguilla megastoma</i>	Pacifique	*	x							SR	M	blocs rocheux	bassins rocheux	x		x	
	<i>Anguilla obscura</i>	Pacifique	*	x			x				SR	M	blocs rocheux	bassins rocheux	x		x	
	<i>Anguilla reinhardtii</i>	Pacifique	***	x	x		x				M	M		omniprésent		x	x	x
APOGONIDAE	<i>Apogon amboinensis</i>	Pacifique	**	x				x	x		MR	F		N.D.		x		
	<i>Apogon hyalosoma</i>	Indo-Pacifique	**	x				x	x		I			N.D.				
BELONTIIDAE	<i>Trichogaster pectoralis</i> ☼	Introduit	N.D.								N.D.							
BLENNIDAE	<i>Meiacanthus anema</i>	Pacifique	**	x				x	x					N.D.				
	<i>Omox biporos</i> ♦	Indo-Pacifique	**											N.D.				
CARCHARHINIDAE	<i>Carcharhinus leucas</i> ♦	Indo-Pacifique	*	x				x		x	ISV	F	sable, vase	N.D.		x		
CENTRARCHIDAE	<i>Micropterus salmoides</i>	Introduit	*	x	x	x					MR	E	blocs, sable	N.D.	x			
CHANIDAE	<i>Chanos chanos</i>	Indo-Pacifique, Afrique de l'Est	N.D.															
CICHLIDAE	<i>Oreochromis mossambicus</i>	Introduit	**	x	x	x	x	x			MGS	F-E	sable, vase	herbiers, plantes aquatiques	x		x	x
	<i>Sarotherodon occidentalis</i>	Introduit	**			x	x				MGS	F-E	graviers, sable	bassins rocheux	x			
CONGRIDAE	<i>Conger cinereus</i>	Indo-Pacifique	*	x				x			IGS	M	graviers, sable	bassins rocheux	x			
CYPRINIDAE	<i>Carassius auratus</i> ☼	Introduit	N.D.								N.D.							
	<i>Cyprinus carpio</i> ☼	Introduit	N.D.								N.D.							
ELEOTRIDAE	<i>Bunaka gyrinoides</i> ☼	Indo-Pacifique	N.D.	x							N.D.							
	<i>Butis amboinensis</i> ♦	Indo-Pacifique	*	x							N.D.	N.D.	N.D.	bassins rocheux				
	<i>Eleotris acanthopoma</i> ☼	Indo-Pacifique	N.D.								N.D.							
	<i>Eleotris fusca</i>	Indo-Pacifique	***	x			x	x	x		MGS	F-E	vase	dans les berges, racines, herbiers			x	x
	<i>Eleotris melanosoma</i>	Indo-Pacifique	**	x			x	x			MGS	F-E	vase	dans les berges, racines, herbiers			x	x
	<i>Hypseleotris Güntheri</i>	Pacifique	*	x	x						ISV	M	vase	près des rives	x		x	x
	<i>Ophieleotris aporos</i>	Indo-Pacifique	*	x	x		x				ISV	M	vase	près des rives			x	x
	<i>Ophiocara porocephala</i>	Indo-Pacifique	*	x				x			ISV	M	blocs, graviers	N.D.	x		x	
GALAXIIDAE	<i>Galaxias neocaledonicus</i>	Endémique	*	x		x					MR	F-E	blocs rocheux	dans l'espace interstitiel	x	x		
GERREIDAE	<i>Gerres filamentosus</i>	Indo-Pacifique	*	x			x	x	x	x	IGS	M	blocs rocheux	N.D.			x	
GOBIIDAE	<i>Amblygobius linki</i> *	Pacifique	N.D.															
	<i>Awaous guamensis</i>	Pacifique	***	x							MGS	E	sable, vase	bassins	x			
	<i>Awaous ocellaris</i> ☼	Pacifique	N.D.	x							N.D.							
	<i>Exyrias bellissimus</i> *	Pacifique	N.D.															
	<i>Exyrias puntang</i>	Pacifique	*	x				x			IGS	E	blocs, graviers	bassins	x		x	
	<i>Glossogobius biocellatus</i> ♦	Indo-Pacifique	*	x				x			IGS	E	sable	N.D.		x		
	<i>Glossogobius celebius</i>	Pacifique	**	x							MGS	M	graviers, sable	N.D.	x		x	x
	<i>Lentipes kaaea</i> ☼	Pacifique	N.D.	x							N.D.							
	<i>Mugilogobius duospilus</i> ♦	Pacifique	*	x				x			N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	<i>Mugilogobius mertoni</i> ☼	Indo-Pacifique	N.D.					x	x		N.D.							
	<i>Mugilogobius notospilus</i> ☼	Indo-Pacifique	N.D.	x							N.D.							
	<i>Periopthalmus argenteolineatus</i>	Indo-Pacifique	***	x			x	x	x	x	ISV	F	vase	sur racines, blocs rocheux		x	x	
	<i>Redigobius balteatus</i> ♦	Pacifique	*	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	<i>Redigobius bikolanus</i>	Pacifique	*	x							IGS	F	sable	près des rives	x		x	x
	<i>Redigobius chrysosoma</i> ♦	Pacifique	*	x				x			IGS	F	N.D.	N.D.		x		
	<i>Redigobius romeri</i>	Indo-Pacifique	*	x				x			IGS	N.D.	ND.	ND.		x		
	<i>Schismatogobius fuligineus</i> ☼	Endémique	N.D.	x							N.D.							
	<i>Sicyopterus lagocephalus</i> •	Indo-Pacifique	**	x							MR, SR	F-E	blocs, graviers	cascades, rapides	x			
	<i>Sicyopterus micrurus</i> •	Indo-Pacifique	**	x							MR, SR	F-E	blocs, graviers	cascades, rapides	x			
	<i>Sicyopterus sarasini</i>	Endémique	**								MR, SR	F-E	blocs, graviers	bassins rocheux, cascades	x			
	<i>Sicyopus chloe</i> ☼	Endémique	N.D.	x							N.D.							
	<i>Sicyopus zosterophorum</i>	Indo-Pacifique	*	x							SR	E	blocs rocheux	cascades, rapides	x			
	<i>Stenogobius (insularigobius) blokzeyli</i> •	Indo-Pacifique	*	x							IGS	M	sable		x		x	x
	<i>Stenogobius yateiensis</i> ☼	Endémique	N.D.	x							N.D.							
	<i>Stiphodon atratus</i> ☼	Pacifique	N.D.	x							N.D.							
	<i>Stiphodon rutilaureus</i> •	Pacifique	*	x							SR	E	blocs rocheux	bassins rocheux	x			
	<i>Stiphodon saphir</i>	Endémique	N.D.	x							N.D.							
	<i>Stiphodon semoni</i> ▽	Pacifique	*	x							MR	E	blocs rocheux	bassins rocheux	x			

				Type de plan d'eau où l'espèce a été recensée							Habitat en rivière	Informations complémentaires sur l'utilisation du microhabitat (lorsque disponible)						
				Rivière	Retenue	Lac	Marais	Estuaire	Mangrove	Espèce essentiellement marine avec présence occasionnelle en eau douce		Profondeur	Substrat préférentiel	Utilisation liée à l'hétérogénéité du milieu	Qualité de l'eau			
Famille	Espèce	Répartition	Abondance									Faible (entre 0 et 50 cm), Moyenne (de 50 à 100 cm), Élevée (plus d'un mètre)	Blocs rocheux, roches, gravier, sable, vase	bassins rocheux, dans le substrat, dans l'espace interstitiel du gravier, sous des branches ou bois mort, plantes aquatiques ou herbiers, près des rives	Eau claire	Eau saumâtre	Eau turbide	Riche en matière organique
	<i>Taenioides cirratus</i> ♦	Indo-Pacifique, Afrique de l'Est	*	x				x			ISV	N.D.	vase	N.D.		x	x	
HAEMULIDAE	<i>Pomadasys argenteus</i>	Indo-Pacifique	*	x				x		x	MR	E	blocs rocheux	végétation aquatique	x	x		
HEMIREMPHIDAE	<i>Zenarchopterus dispar</i>	Pacifique	*	x				x		x	MGS	en surface		surface de l'eau	x			
KUHLIIDAE	<i>Kuhlia marginata</i>	Pacifique	**	x							MR	M	blocs rocheux	bassins rocheux	x			
	<i>Kuhlia munda</i>	Pacifique	***	x				x			IGS	M	blocs rocheux	bassins rocheux	x			
	<i>Kuhlia rupestris</i>	Indo-Pacifique	***	x							MR	E	blocs rocheux	bassins rocheux	x			
LEIOGNATHIDAE	<i>Leiognathus equulus</i>	Indo-Pacifique	*	x				x			ISV	N.D.	vase	N.D.	x	x	x	
LUTJANIDAE	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	Indo-Pacifique	**	x				x			ISV	N.D.	N.D.	N.D.		x	x	
	<i>Lutjanus fulviflamma</i> *	Indo-Pacifique	N.D.															
	<i>Lutjanus fuscescens</i> ♦	Pacifique	*	x				x		x	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		x	x	
	<i>Lutjanus russelli</i>	Indo-Pacifique	*	x				x	x	x		E	N.D.	N.D.		x	x	
MEGALOPIDAE	<i>Megalops cyprinoides</i>	Indo-Pacifique	*	x	x						IGS	E	pélagique	bassins rocheux, plantes aquatiques			x	x
MICRODESMIDAE	<i>Parioglossus neocaledonicus</i>	Endémique	**	x				x			MGS	en surface	pélagique	Bassins	x	x	x	
MONODACTYLIDAE	<i>Monodactylus argenteus</i>	Indo-Pacifique	*	x				x			N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		x	x	
MORINGUIDAE	<i>Moringua microchir</i> ♦	Indo-Pacifique	*	x							ISV	M	vase	dans le substrat			x	x
MUGILIDAE	<i>Cestraeus oxyrhncus</i>	Pacifique	*	x							MR	E	blocs rocheux	bassins rocheux	x			
	<i>Cestraeus pilcatilis</i>	Pacifique	***	x							MR	E	blocs rocheux	bassins rocheux, rapides	x			
	<i>Crenimugil crenilabis</i>	Indo-Pacifique	*	x							MGS	E	sable, vase	bassins			x	
	<i>Crenimugil heterocheilos</i> ♦	Pacifique	*	x							IGS	E	sable, vase	bassins			x	
	<i>Liza melinoptera</i>	Indo-Pacifique	*	x				x			IGS	E	sable, vase	bassins			x	
	<i>Liza tade</i> ♦	Indo-Pacifique	*	x				x			IGS	E	sable, vase	bassins			x	
	<i>Mugil cephalus</i>	Cosmopolite	*	x							IGS	E	sable, vase	bassins			x	
MURAENIDAE	<i>Gymnothorax polyuranodon</i>	Pacifique	*	x							MGS	E	blocs rocheux	bassins rocheux	x			
OPHICHTHYIDAE	<i>Lamnostoma kampeni</i> ♦	Pacifique	*	x							MGS	E	graviers	dans le substrat			x	
	<i>Lamnostoma orientalis</i> ☆	Indo-Pacifique	N.D.					x			N.D.							
POECILIIDAE	<i>Poecilia reticulata</i>	Introduit	***	x	x	x					ISV	F	graviers, sable	plantes aquatiques, près des rives			x	x
	<i>Gambusia affinis</i>	Introduit	*	x							IGS	F	graviers, sable	dans l'espace interstitiel du gravier			x	x
	<i>Xiphophorus helleri</i>	Introduit	**	x							IGS	F	graviers, sable	plantes aquatiques, près des rives			x	x
	<i>Xiphophorus maculatus</i>	Introduit	N.D.															
POMACENTRIDAE	<i>Neopomacentrus taeniurus</i>	Indo-Pacifique	*	x				x			N.D.	N.D.	N.D.	près des rives		x	x	
RHYACICHTHYIDAE	<i>Protogobius attiti</i>	Endémique	*/s	x							MR, SR	M	blocs, roches	bassins rocheux	x			
	<i>Rhyacichthys guilberti</i>	Endémique	*	x							SR	M	blocs, roches	bassins rocheux	x			
SCATOPHAGIDAE	<i>Scatophagus argus</i>	Indo-Pacifique	***	x				x	x	x	IGS	M	N.D.	N.D.		x	x	
SIGANIDAE	<i>Siganus vermiculatus</i>	Indo-Pacifique	*	x				x	x	x	IGS	M	N.D.	N.D.		x	x	
SPARIDAE	<i>Acanthopagrus berda</i> ♦	Indo-Pacifique	*	x				x			IGS	M	N.D.	N.D.		x	x	
SPHYRAENIDAE	<i>Sphyraena barracuda</i> ♦	Cosmopolite	*	x				x		adultes	IGS	M	N.D.	N.D.		x	x	
SYNGNATHIDAE	<i>Microphis brachyurus brachyurus</i>	Indo-Pacifique	*															
				x				x			IGS	M	N.D.	N.D.		x	x	
	<i>Microphis cruentus</i> ☆	endémique	N.D.							N.D.	N.D.							
	<i>Microphis leiaspis</i> ♦	Indo-Pacifique	*	x				x			IGS	M	N.D.	N.D.		x	x	
	<i>Microphis retzii</i> ☆	Pacifique	N.D.							N.D.								
SYNODONTIDAE	<i>Saurida nebulosa</i>	?	N.D.															
TERAPONIDAE	<i>Therapon jarbua</i>	Indo-Pacifique	*	x	x			x		adultes	IGS	M	N.D.	N.D.		x	x	
TETRAODONTIDAE	<i>Arothron hispidus</i>	Indo-Pacifique	*	x				x		x	N.D.	N.D.	N.D.	herbiers		x	x	
	<i>Arothron immaculatus</i>	Indo-Pacifique	*	x						x	N.D.	N.D.	N.D.	herbiers		x	x	

N.D. Non disponible
Endémique ? Espèces identifiée nouvelle, mais statut non confirmé dans des publications (*cf. chapitre 4.1 .*)

Abondance
******* abondant (plus de 10 spécimens par espèce et par prélèvement dans un secteur échantillonné)
****** courant (de 5 à 10 spécimens par prélèvement)
***** rare (moins de 5 spécimens par prélèvement)
s en danger par modification de leur habitat

Sources :
▽ Travail d'inventaire, Pöllabauer 1999 à 2004
* P. Laboute, ORSTOM, Nouméa (comm. pers.)
* Laboute et Grandperrin, 2000
♦ Marquet *et al.*, 1997
☆ Marquet *et al.* , 2003
• Watson, R.E., (comm. pers.)
⊕ Dr. Hoese D., (comm. pers.)

Codes des habitats
SR Cours supérieurs, pente forte, courant rapide, substrat rocheux
SG Cours supérieurs, pente forte, courant rapide, substrat graveleux
MR Cours moyen, pente moyenne, courant moyen à rapide, substrat rocheux
MGS Cours intermédiaire, pente moyenne, courant moyen à rapide, substrat graveleux à sableux
IGS Cours inférieur, pente faible, courant moyen à faible, substrat graveleux à sableux
ISV Cours inférieur, pente faible, courant faible à nul, substrat sableux à vaseux

Les descriptions des microhabitats sont basées sur les références bibliographiques d'Allen, 1991; de Laboute et Grandperrin, 2000; de Pöllabauer, 1991; ainsi que sur les communications personnelles de Pierre Laboute, et sur diverses notes de terrain non publiées d'ERBIO..

ANNEXE III : MOLLUSQUES RECENSES EN
NOUVELLE-CALEDONIE

ANNEXE III

MOLLUSQUES RECENSES EN NOUVELLE-CALÉDONIE

Classe	Famille	Genre	Espèce
Prosobranches	Neritidae	<i>Clithon</i>	<i>Clithon bicolor</i> ⁽¹⁾ <i>Clithon corona</i> ⁽²⁾ <i>Clithon nucleolus</i> ⁽³⁾ <i>Clithon olivatus</i> <i>Clithon pritchardi</i> <i>Clithon sp.</i>
		<i>Neripteron</i>	<i>Neripteron auriculata</i> ⁽⁴⁾ <i>Neripteron dilatata</i> <i>Neripteron lecontei</i> ⁽¹⁾ <i>Neripteron tahitiensis</i>
		<i>Neritina</i>	<i>Neritina canalis</i> <i>Neritina macgillivrayi</i> <i>Neritina petiti</i> ⁽¹⁾ <i>Neritina porcata</i> <i>Neritina pulligera</i> ⁽²⁾ <i>Neritina squamipicta</i> <i>Neritina sp.</i>
		<i>Neritodryas</i>	<i>Neritodryas chimmoi</i> ⁽⁵⁾
		<i>Puperita</i>	<i>Puperita sp.</i>
		<i>Septaria</i>	<i>Septaria bougainvillei</i> <i>Septaria janelli</i> <i>Septaria porcellana</i> <i>Septaria sanguisuga</i> <i>Septaria suffreni</i>
		<i>Vittina</i>	<i>Vittina roissyana</i> <i>Vittina turrita</i> <i>Vittina variegata</i> ⁽⁶⁾
	Hydrobiidae	<i>Caledoconcha</i>	<i>Caledoconcha camosa</i> ⁽⁷⁾ <i>Caledoconcha mariapetrae</i> ⁽⁷⁾
		<i>Fluviopupa</i>	<i>Fluviopupa minor</i> ⁽⁸⁾
		<i>Hemistomia</i>	<i>Hemistomia aquilonaris</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia caledonica</i> ⁽⁹⁾ <i>Hemistomia cautium</i> <i>Hemistomia cockerelli</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia crosseana</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia drubea</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia dystherata</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia eclima</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia fabrorum</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia fallax</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia fluminis</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia fridayi</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia gorotitei</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia hansii</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia huliwa</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia lacinia</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia melanosoma</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia minor</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia napaia</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia nyo</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia obeliscus</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia oxychila</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia rusticorum</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia saxifica</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia shostakovishi</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia ultima</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia xaracuu</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia yalayu</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia yuaga</i> ⁽⁷⁾ <i>Hemistomia winstonefi</i> ⁽⁷⁾
		<i>Heterocyclus</i>	<i>Heterocyclus perroquini</i> ⁽⁹⁾

Classe	Famille	Genre	Espèce
		<i>Hydrobia</i>	<i>Hydrobia savesi</i> ⁽⁹⁾
		<i>Kanakyella</i>	<i>Kanakyella gentilsiana</i> ⁽⁷⁾
			<i>Kanakyella numcee</i> ⁽⁷⁾
			<i>Kanakyella poellabauence</i> ⁽⁷⁾
		<i>Leiorhagium</i>	<i>Leiorhagium ajie</i> ⁽⁷⁾
			<i>Leiorhagium cathartes</i> ⁽⁷⁾
			<i>Leiorhagium douli</i> ⁽⁷⁾
			<i>Leiorhagium granulum</i> ⁽⁷⁾
			<i>Leiorhagium granum</i> ⁽⁷⁾
			<i>Leiorhagium implicatum</i> ⁽⁷⁾
			<i>Leiorhagium kavuneva</i> ⁽⁷⁾
			<i>Leiorhagium korngoldi</i> ⁽⁷⁾
			<i>Leiorhagium monachum</i> ⁽⁷⁾
			<i>Leiorhagium montfaouense</i> ⁽⁷⁾
			<i>Leiorhagium mussorgskyi</i> ⁽⁷⁾
<i>Leiorhagium orokau</i> ⁽⁷⁾			
<i>Leiorhagium ruali</i> ⁽⁷⁾			
<i>Leiorhagium solemi</i> ⁽⁷⁾			
<i>Leiorhagium supernum</i> ⁽⁷⁾			
<i>Leiorhagium tectodentatum</i> ⁽⁷⁾			
<i>Leiorhagium utriculatum</i> ⁽⁷⁾			
	<i>Pidaconomus</i>	<i>Pidaconomus hybrida</i> ⁽⁷⁾	
	Assimineidae	<i>Paludinella</i>	<i>Paludinella hidalgoi</i> ⁽¹⁰⁾
	Thiaridae	<i>Melanoides</i>	<i>Melanoides arthuri</i> ⁽¹¹⁾
			<i>Melanoides lamberti</i> ⁽⁹⁾
			<i>Melanoides tuberculatus</i> ⁽¹²⁾
		<i>Melanopsis</i>	<i>Melanopsis frustulum</i> ⁽³⁾
			<i>Melanopsis mariei</i> ⁽⁹⁾
	<i>Thiara</i>	<i>Thiara amarula</i> ⁽²⁾	
Pulmonés	Planorbidae	<i>Gyraulus</i>	<i>Gyraulus montrouzieri</i> ⁽¹⁰⁾
		<i>Physastra</i>	<i>Physastra nasuta</i> ⁽³⁾
			<i>Physastra (Glyptophysa) petiti</i> ⁽⁹⁾
	Ferrissiidae	<i>Ferrissia</i>	<i>Ferrissia noumeensis</i> ⁽⁹⁾

(1) Récluz, 1841, 1843, 1853

(2) Linné, 1758, 1767

(3) Morelet, 1856, 1857

(4) Lamarck, 1816

(5) Reeve, 1856

(6) Lesson, 1832

(7) Haase, 1998

(8) Starmühlner, 1970

(9) Crosse, 1869, 1871, 1872, 1887

(10) Gassies, 1863, 1869

(11) Brot, 1871

(12) Müller, 1774

ANNEXE IV : CRUSTACES DECAPODES RECENSES
EN NOUVELLE-CALEDONIE

ANNEXE IV

CRUSTACES DECAPODES RECENSES EN NOUVELLE-CALEDONIE

Famille	Genre	Espèce
Atyidae	<i>Antecaridina</i>	<i>Antecaridina lauensis</i> ⁽¹⁾
	<i>Atyoida</i>	<i>Atyoida pilipes</i> ⁽²⁾
	<i>Atyopsis</i>	<i>Atyopsis spinipes</i> ⁽²⁾
	<i>Caridina</i>	<i>Caridina gracilirostris</i> ⁽³⁾
		<i>Caridina imitatrix</i> ^{*(4)}
		<i>Caridina leucosticta</i> ⁽⁵⁾
		<i>Caridina longirostris</i> ⁽⁶⁾
		<i>Caridina nilotica</i> ⁽⁷⁾
		<i>Caridina novaecaledoniae</i> ^{*(8)}
		<i>Caridina serratirostris</i> ⁽³⁾
		<i>Caridina typus</i> ⁽⁶⁾
		<i>Caridina vitiensis</i> ⁽⁹⁾
		<i>Caridina weberi</i> ⁽³⁾
		<i>Caridina sp.1</i> *
		<i>Caridina sp.2</i> *
	<i>Paratya</i>	<i>Paratya bouvieri</i> ^{*(8)}
		<i>Paratya caledonica</i> ^{*(8)}
<i>Paratya intermedia</i> ^{*(8)}		
<i>Paratya typa</i> ^{*(8)}		
<i>Paratya sp.1</i> *		
<i>Paratya sp.2</i> *		
Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i>	<i>Macrobrachium aemulum</i> ⁽¹⁰⁾
		<i>Macrobrachium australe</i> ⁽¹¹⁾
		<i>Macrobrachium caledonicum</i> ^{*(8)}
		<i>Macrobrachium equidens</i> ⁽¹²⁾
		<i>Macrobrachium gracilirostre</i>
		<i>Macrobrachium grandimanus</i> ⁽¹³⁾
		<i>Macrobrachium lar</i> ⁽¹⁴⁾
		<i>Macrobrachium latimanus</i> ⁽¹⁵⁾
		<i>Macrobrachium microps</i> ⁽⁴⁾
		<i>Macrobrachium placidulum</i>
	<i>Palaemon</i>	<i>Palaemon concinnus</i> ⁽¹⁶⁾
		<i>Palaemon debilis</i> ⁽¹⁶⁾
Alpheidae	<i>Potamalpheops</i>	<i>Potamalpheops pininsulae</i> *
Grapsidae	<i>Varuna</i>	<i>Varuna litterata</i>
Goneplacidae	<i>Australocarcinus</i>	<i>Australocarcinus kanaka</i> *
Hymenosomatidae	<i>Odiomaris</i>	<i>Odiomaris pilosus</i> ^{*(6)}

*espèces endémiques

(1) Edmonson, 1935

(2) Newport, 1847

(3) De Man, 1892

(4) Holthuis, 1969, 1978

(5) Stimpson, 1860

(6) H. Milne Edwards, 1837, 1873

(7) P. Roux, 1833

(8) J. Roux, 1926

(9) Borradaile, 1898

(10) Nobili, 1906

(11) Guérin-Méneville, 1838

(12) Dana, 1852

(13) Randall, 1840

(14) Fabricius, 1798

(15) Von martens, 1868

(16) Dana, 1852

ANNEXE V : INSECTES AQUATIQUES RECENSES EN
NOUVELLE-CALEDONIE

ANNEXE V

INSECTES AQUATIQUES RECENSES EN NOUVELLE-CALEDONIE

Ordre	Famille	Genre*	Espèce
Collemboles			
Ephéméroptères	Leptophlebiidae	<i>Amoa</i>	<i>Amoa cressonensis</i> ⁽¹⁾ <i>Amoa fronini</i> ⁽¹⁾ <i>Amoa hebes</i> ⁽¹⁾ <i>Amoa orthogonia</i> ⁽¹⁾ <i>Amoa subsolana</i> ⁽¹⁾
		<i>Celiphlebia</i>	<i>Celiphlebia caledonae</i> ⁽¹⁾ <i>Celiphlebia starmuehlneri</i> ⁽¹⁾
		<i>Coula</i>	<i>Coula fasciata</i> ⁽¹⁾
		<i>Fasciamirus</i>	<i>Fasciamirus rae</i> ⁽¹⁾
		<i>Kariona</i>	<i>Kariona quinata</i> ⁽¹⁾
		<i>Kouma</i>	<i>Kouma adusta</i> ⁽¹⁾ <i>Kouma annulata</i> ⁽¹⁾ <i>Kouma aurata</i> ⁽¹⁾ <i>Kouma becki</i> ⁽¹⁾
		<i>Lepegenia</i>	<i>Lepegenia lineata</i> ⁽¹⁾
		<i>Lepeorus</i>	<i>Lepeorus calidus</i> ⁽¹⁾ <i>Lepeorus goyi</i> ⁽¹⁾ <i>Lepeorus thierryi</i> ⁽¹⁾
		<i>Notachalcus</i>	<i>Notachalcus corbassoni</i> ⁽¹⁾
		<i>Oumas</i>	<i>Oumas orbis</i> ⁽¹⁾
		<i>Ounia</i>	<i>Ounia hyalina</i> ⁽¹⁾ <i>Ounia inclavis</i> ⁽¹⁾ <i>Ounia loisoni</i> ⁽¹⁾
		<i>Paposa</i>	<i>Paposa hirsuta</i> ⁽¹⁾
		<i>Paraluma</i>	<i>Paraluma cancellata</i> ⁽¹⁾ <i>Paraluma gilva</i> ⁽¹⁾ <i>Paraluma maculata</i> ⁽¹⁾ <i>Paraluma minuta</i> ⁽¹⁾ <i>Paraluma pulla</i> ⁽¹⁾ <i>Paraluma triangularis</i> ⁽¹⁾
		<i>Peloracantha</i>	<i>Peloracantha titan</i> ⁽¹⁾
		<i>Poya</i>	<i>Poya brunnea</i> ⁽¹⁾
		<i>Simulacala</i>	<i>Simulacala massula</i> ⁽¹⁾ <i>Simulacala miletti</i> ⁽¹⁾ <i>Simulacala notialis</i> ⁽¹⁾
		<i>Tenagophila</i>	<i>Tenagophila brinoni</i> ⁽¹⁾ <i>Tenagophila paitae</i> ⁽¹⁾
		<i>Tindea</i>	<i>Tindea cochereaui</i> ⁽¹⁾
		<i>N. gen. 4</i>	<i>N. gen. 4 sp1</i>
		<i>N. gen. A</i>	<i>N. gen. A sp1</i>
		<i>N. gen. B</i>	<i>N. gen. B sp1</i>
Odonatoptères	Coenagrionidae	<i>Agriocnemis</i>	<i>Agriocnemis excudans</i> ⁽⁷⁾
		<i>Ischnura</i>	<i>Ischnura aurora</i> ⁽⁹⁾ <i>Ischnura heterosticta</i> ⁽¹⁰⁾ <i>Ischnura torresiana</i> ⁽¹¹⁾
		<i>Xanthagrion</i>	<i>Xanthagrion erythroneurum</i> ⁽⁷⁾
		<i>Xiphiagrion</i>	<i>Xiphiagrion cyanomelas</i> ⁽⁷⁾
	Isostictidae	<i>Isosticta</i>	<i>Isosticta gracilior</i> ⁽⁵⁾ <i>Isosticta humilior</i> ⁽⁵⁾ <i>Isosticta robustior</i> ⁽⁶⁾ <i>Isosticta spinipes</i> ⁽⁷⁾ <i>Isosticta tillyardi</i> ⁽⁸⁾
	Lestidae	<i>Lestes</i>	<i>Lestes cheesmanae</i> ⁽²⁾ <i>Lestes concinnus</i> ⁽³⁾
	Megapodagrionidae	<i>Argiolestes</i>	<i>Argiolestes ochraceus</i> ⁽⁴⁾
		<i>Caledaargiolestes</i>	<i>Caledaargiolestes janiceae</i> ⁽⁵⁾ <i>Caledaargiolestes uniseriis</i> ⁽⁶⁾

Ordre	Famille	Genre*	Espèce
Odonatoptères (suite)	Megapodagrionidae (suite)	<i>Caledopteryx</i>	<i>Caledopteryx sarasini</i> ⁽⁶⁾
		<i>Trineuragrimon</i>	<i>Trineuragrimon percostale</i> ⁽⁶⁾
	Aeshnidae	<i>Aeshna</i>	<i>Aeshna brevistyla</i> ⁽¹²⁾
		<i>Anax</i>	<i>Anax gibbosulus</i> ⁽¹²⁾
		<i>Gynacantha</i>	<i>Gynacantha rosenbergi</i> ⁽⁹⁾
	Cordullidae	<i>Hemicodulia</i>	<i>Hemicodulia fidelis</i> ⁽¹³⁾ <i>Hemicodulia hilaris</i> ⁽⁵⁾
		<i>Metaphya</i>	<i>Metaphya elongata</i> ⁽⁸⁾
		<i>Synthemis</i>	<i>Synthemis ariadne</i> ⁽⁵⁾ <i>Synthemis campioni</i> ⁽⁵⁾ <i>Synthemis fenella</i> ⁽⁸⁾ <i>Synthemis flexicauda</i> ⁽⁸⁾ <i>Synthemis miranda</i> ⁽⁷⁾ <i>Synthemis montaguei</i> ⁽⁸⁾
	Libellulidae	<i>Agrionoptera</i>	<i>Agrionoptera papuensis</i> ⁽³⁾
		<i>Diplacodes</i>	<i>Diplacodes bipunctata</i> ⁽⁹⁾ <i>Diplacodes haematodes</i> ⁽¹⁰⁾
		<i>Lathrecista</i>	<i>Lathrecista asiatica</i> ⁽⁷⁾
		<i>Orthetrum</i>	<i>Orthetrum caledonicum</i> ⁽⁹⁾
		<i>Pantala</i>	<i>Pantala flavescens</i> ⁽⁶⁾
		<i>Rhyothemis</i>	<i>Rhyothemis graphiptera</i> ⁽¹⁴⁾ <i>Rhyothemis phyllis</i> ⁽¹⁵⁾
		<i>Tamea</i>	<i>Tamea liberata</i> ⁽⁵⁾ <i>Tamea loewi</i> ⁽⁹⁾ <i>Tamea transmarina</i> ⁽⁵⁾
	Synthemistidae		
Hétéroptères	Belostomatidae	<i>Lethocerus</i>	<i>Lethocerus insularis</i> ⁽¹⁸⁾
	Corixidae	<i>Sigara</i>	<i>Sigara tadeuszi</i> ⁽¹⁷⁾ <i>Sigara truncatipala</i> ⁽¹⁸⁾
	Gerridae	<i>Limnogonus</i>	<i>Limnogonus fossarum</i> ⁽¹⁹⁾ <i>Limnogonus luctuosus</i> ⁽⁴⁾
	Hydrometridae	<i>Hydrometra</i>	<i>Hydrometra aculeata</i> ⁽⁴⁾ <i>Hydrometra risbeci</i> ⁽²⁰⁾
	Leptopodidae	<i>Valleriola</i>	<i>Valleriola assouanensis</i> ⁽²¹⁾
	Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i>	<i>Mesovelia vittigera</i> ⁽²²⁾
	Notonectidae	<i>Anisops</i>	<i>Anisops cleopatra</i> ⁽²³⁾ <i>Anisops crinita</i> ⁽²⁴⁾ <i>Anisops hyperion</i> ⁽²⁵⁾ <i>Anisops occipitalis</i> ⁽²⁶⁾
		<i>Enithares</i>	<i>Enithares bergrothi</i> ⁽¹⁶⁾
	Ochteridae	<i>Ochterus</i>	<i>Ochterus australicus</i> ⁽²⁷⁾ <i>Ochterus dufouri</i> ⁽⁴⁾
	Pleidae	<i>Plea</i>	<i>Plea liturata</i> ⁽²⁸⁾ (= <i>Plea rufonatus</i> ⁽²³⁾)
	Veliidae	<i>Halovelia</i>	<i>Halovelia loyaltiensis</i> ⁽²⁹⁾
		<i>Microvelia</i>	<i>Microvelia oceanica</i> ⁽²³⁾ <i>Microvelia starmuehlneri</i> ⁽³⁰⁾
		<i>Rhagovelia</i>	<i>Rhagovelia novacaledonica</i> ⁽¹⁷⁾ <i>Rhagovelia pixada</i> ⁽³⁰⁾
Coléoptères	Curculionidae		
	Dytiscidae	<i>Cybister</i>	<i>Cybister tripunctatus hamatus</i> ⁽⁴⁾
		<i>Hydaticus</i>	<i>Hydaticus bihamatus</i> ⁽³¹⁾ <i>Hydaticus consanguineus</i> ⁽³¹⁾ <i>Hydaticus quadrivittatus</i> ⁽³²⁾
		<i>Laccophilus</i>	<i>Laccophilus clarki</i> ⁽³³⁾
		<i>Macroporus</i>	<i>Macroporus</i> sp. ⁽³³⁾
		<i>Rhantaticus</i>	<i>Rhantaticus congestus</i> ⁽³⁴⁾
	Gyrinidae	<i>Aulonogyrus</i>	<i>Aulonogyrus antipodum</i> ⁽³⁵⁾
		<i>Dineutus</i>	<i>Dineutus australis australis</i> ⁽¹⁹⁾
		<i>Gyrinus</i>	<i>Gyrinus caledonicus</i> ⁽³⁶⁾ <i>Gyrinus convexusculus</i> ⁽³⁷⁾
		<i>Macrogyrus</i>	<i>Macrogyrus caledonicus</i> ⁽³⁵⁾
	Helodidae	<i>Genus A</i>	<i>Genus A</i> sp. ⁽³⁸⁾
		<i>Genus B</i>	<i>Genus B</i> sp. ⁽³⁸⁾
	Hydraenidae	<i>Hydraena</i>	<i>Hydraena princeps</i> ⁽³⁵⁾

Ordre	Famille	Genre*	Espèce
Coléoptères (suite)	Hydrophilidae	<i>Berosini gen. 3</i>	<i>Berosini gen. 3 sp1.</i> ⁽³⁸⁾
		<i>Dactylostemum</i>	<i>Dactylostemum montagnei</i> ⁽³⁹⁾
		<i>Paracymus</i>	<i>Paracymus pygmaeus</i> ⁽⁴⁰⁾
		<i>Yateberosus</i>	<i>Yateberosus maculatus</i> ⁽³²⁾
			<i>Yateberosus novaecaledonicus</i> ⁽³²⁾
Trichoptères	Ecnomidae	<i>Agmina</i>	<i>Agmina artarima</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina berada</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina bimaculata</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina diriwi</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina hamata</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina hastata</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina hircina</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina hirta</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina jepiva</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina joycei</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina kapiwa</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina kara</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina mariae</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina padi</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina panda</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina parie</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina rhara</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina urugi</i> ⁽⁵⁸⁾
			<i>Agmina vuegi</i> ⁽⁵⁸⁾
		<i>Ecnomina</i>	<i>Ecnomina kavinia</i> ⁽⁵⁸⁾
	Helicophidae	<i>Briama</i>	<i>Briama koghi</i> ⁽⁵⁵⁾
		<i>Helicopha</i>	<i>Helicopha amieuensis</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Helicopha dognyensis</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Helicopha einap</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Helicopha paniensis</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Helicopha patriciae</i> ⁽⁵⁵⁾
			<i>Helicopha pouebo</i> ⁽⁵⁵⁾
			<i>Helicopha ramea</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Helicopha rembai</i> ⁽⁵⁵⁾
	Helicopsychidae	<i>Hydropsyche</i>	<i>Hydropsyche arenaria</i> ⁽⁴¹⁾
			<i>Hydropsyche arma</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche asymmetrica</i> ⁽⁴¹⁾
			<i>Hydropsyche baroua</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche boualaria</i> ⁽⁴¹⁾
			<i>Hydropsyche browni</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche caledonia</i> ⁽⁴¹⁾
			<i>Helicopsyche edmundsi</i> ⁽⁴¹⁾
			<i>Hydropsyche fusca</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche gibbsi</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche hollowayi</i> ⁽⁴¹⁾
			<i>Hydropsyche kariona</i> ⁽⁴¹⁾
			<i>Hydropsyche koghiensis</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche koumaka</i> ⁽⁴¹⁾
			<i>Hydropsyche lapidaria</i> ⁽⁴¹⁾
			<i>Hydropsyche livida</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche neocaledonia</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche nigrospinosa</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche ouaroua</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche patriciae</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche pellmyri</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche penicilla</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Helicopsyche petersorum</i> ⁽⁴¹⁾
			<i>Hydropsyche rembaia</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche rossi</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche starmuehlneri</i> ⁽⁴¹⁾
			<i>Hydropsyche tenuisa</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche trispina</i> ⁽⁴³⁾
			<i>Hydropsyche unilobata</i> ⁽⁴²⁾
			<i>Hydropsyche vallonina</i> ⁽⁴¹⁾
	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i>	<i>Apsilochorema caledonicum</i> ⁽³⁾

Ordre	Famille	Genre*	Espèce
Trichoptères (suite)	Hydrobiosidae (suite)	<i>Xanthochorema</i>	<i>Xanthochorema bifurcatum</i> ⁽⁴⁴⁾ <i>Xanthochorema calcaratum</i> ⁽⁴⁴⁾ <i>Xanthochorema caledon</i> ⁽³⁾ <i>Xanthochorema celadon</i> ⁽⁴⁴⁾ <i>Xanthochorema neocaledonia</i> ⁽⁴²⁾ <i>Xanthochorema paniensis</i> ⁽⁴⁶⁾
	Hydropsychidae	<i>Caledopsyche</i>	<i>Caledopsyche atalanta</i> ⁽⁵⁶⁾ <i>Caledopsyche cerberus</i> ⁽⁵⁶⁾ <i>Caledopsyche cheesmanae</i> ⁽³⁾ <i>Caledopsyche erotos</i> ⁽⁵⁶⁾ <i>Caledopsyche leander</i> ⁽⁵⁶⁾ <i>Caledopsyche phallaina</i> ⁽⁵⁶⁾
		<i>Cheumatopsyche</i>	<i>Cheumatopsyche amiana</i> ⁽⁴⁷⁾
	Hydroptilidae	<i>Acriloptila</i>	<i>Acriloptila amphapsis</i> ⁽⁵⁰⁾ <i>Acriloptila chiasma</i> ⁽⁵⁰⁾ <i>Acriloptila crinita</i> ⁽⁵⁰⁾ <i>Acriloptila disjuncta</i> ⁽⁵⁰⁾ <i>Acriloptila glossocercus</i> ⁽⁴⁸⁾ <i>Acriloptila ouenghica</i> ⁽⁵⁰⁾ <i>Acriloptila planichela</i> ⁽⁴⁸⁾
		<i>Caledonotrichia</i>	<i>Caledonotrichia charadra</i> ⁽⁴⁸⁾ <i>Caledonotrichia extensa</i> ⁽⁴⁸⁾ <i>Caledonotrichia illiesi</i> ⁽⁴⁷⁾ <i>Caledonotrichia minor</i> ⁽⁴⁷⁾
		<i>Hellyethira</i>	<i>Hellyethira malleoforma</i> ⁽⁵⁰⁾
		<i>Hydroptila</i>	<i>Hydroptila losida</i> ⁽⁴⁹⁾
		<i>Oxyethyra</i>	<i>Oxyethyra caledoniensis</i> ⁽⁴⁸⁾ <i>Oxyethyra dorsennus</i> ⁽⁴⁸⁾ <i>Oxyethyra indorsennus</i> ⁽⁴⁸⁾ <i>Oxyethyra insularis</i> ⁽⁴⁸⁾ <i>Oxyethyra melasma</i> ⁽⁴⁸⁾ <i>Oxyethyra oropedion</i> ⁽⁴⁸⁾ <i>Oxyethyra scutica</i> ⁽⁴⁸⁾
		<i>Paroxyethira</i>	<i>Paroxyethira dumagnes</i> ⁽⁴⁸⁾ <i>Paroxyethira nigrispina</i> ⁽⁴⁸⁾
	Kokiriidae	<i>Mecynostomella</i>	<i>Mecynostomella brevis</i> ⁽⁴²⁾ <i>Mecynostomella caledonia</i> ⁽⁴²⁾ <i>Mecynostomella flinti</i> ⁽⁴²⁾ <i>Mecynostomella fusca</i> ⁽³⁾ <i>Mecynostomella hollowayi</i> ⁽⁴²⁾ <i>Mecynostomella sigma</i> ⁽⁴²⁾ <i>Mecynostomella spinosa</i> ⁽⁴²⁾
		<i>Gracilipsodes</i>	<i>Gracilipsodes psocopterus</i> ⁽⁴⁷⁾ <i>Gracilipsodes similis</i> ⁽⁵⁷⁾
		<i>Oecetis</i>	<i>Oecetis sp.1</i>
		<i>Symphitoneuria</i>	<i>Symphitoneuria licmetica</i> ⁽⁵¹⁾ <i>Symphitoneuria clara</i> ⁽⁵⁷⁾
		<i>Tripectides</i>	<i>Tripectides sasali</i> ⁽⁵²⁾ <i>Tripectides smithi</i> ⁽⁵²⁾ <i>Tripectides winstanley</i> ⁽⁵²⁾
		<i>N. gen. D</i>	<i>N. gen. D sp1</i>
	Philopotamidae	<i>Chimarra</i>	<i>Chimarra hienghene</i> ⁽⁵³⁾
		<i>Hydrobiosella</i>	<i>Hydrobiosella uncinata</i> ⁽³⁾
	Polycentropodidae		
Diptères	Blephariceridae	<i>Curupirina</i>	<i>Curupirina sp.</i>
	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae	<i>Bezzia sp.</i>
		Forcipomyiinae	<i>Atrichopogon sp.</i>
	Chironomidae	Chironomini	
		<i>Chironomus</i>	<i>Chironomus sp.</i>
		<i>Corynoneura</i>	<i>Corynoneura sp.</i>
		<i>Harrisius</i>	<i>Harrisius sp.</i>
		Orthocladiinae	
		Pseudochironomini	
		Tanypodiinae	

Ordre	Famille	Genre*	Espèce
Diptères (suite)	Chironomidae (suite)	Tanytarsini	
	Culicidae	<i>Aedes</i>	<i>Aedes sp.</i>
	Dixidae		
	Dolichopodidae		
	Empididae		
	Ephydriidae		
	Limoniidae	Eriopterinae	
		Hexataminae	
		Limoniinae	
	Psychodidae	Psychodini	
		Telmatoscopini	
	Simuliidae	<i>Simulium</i>	<i>Simulium neomatipes</i> ⁽⁵⁴⁾
	Stratiomyidae		
	Syrphidae		
	Tabanidae		
Lépidoptères			

* Sous-famille, Tribu ou Genre pour les Chironomidae

- ⁽¹⁾ Peters, 1978, 1980, 1981, 1990, 1994, 2000
- ⁽²⁾ Hagen & Selys, 1862
- ⁽³⁾ Kimmins, 1936, 1953
- ⁽⁴⁾ Montrouzier, 1857, 1864, 1865
- ⁽⁵⁾ Lieftinck, 1949, 1971, 1975
- ⁽⁶⁾ Ris, 1915
- ⁽⁷⁾ Selys, 1871, 1876, 1877, 1879, 1885
- ⁽⁸⁾ Campion, 1921
- ⁽⁹⁾ Brauer, 1865, 1866, 1867
- ⁽¹⁰⁾ Burmeister, 1839
- ⁽¹¹⁾ Tillyard, 1913
- ⁽¹²⁾ Rambur, 1842
- ⁽¹³⁾ MacLachlan, 1886
- ⁽¹⁴⁾ Rambur, 1842
- ⁽¹⁵⁾ Kirby, 1889
- ⁽¹⁶⁾ Montandon, 1892
- ⁽¹⁷⁾ Lundblad, 1933, 1936
- ⁽¹⁸⁾ Hale, 1922

- ⁽¹⁹⁾ Fabricius, 1775
- ⁽²⁰⁾ Hungeford, 1938
- ⁽²¹⁾ Costa, 1875
- ⁽²²⁾ Horvath, 1865
- ⁽²³⁾ Distant, 1914
- ⁽²⁴⁾ Brooks, 1951
- ⁽²⁵⁾ Kirkaldy
- ⁽²⁶⁾ Breddin, 1905
- ⁽²⁷⁾ Jaczewski, 1931
- ⁽²⁸⁾ Fieber
- ⁽²⁹⁾ China, 1957
- ⁽³⁰⁾ Polhemus & Herring, 1970
- ⁽³¹⁾ Aubé, 1838
- ⁽³²⁾ Satô, 1951, 1966
- ⁽³³⁾ Sharp, 1882
- ⁽³⁴⁾ Kulg, 1832
- ⁽³⁵⁾ Fauvel, 1867, 1903
- ⁽³⁶⁾ Régimbart, 1883
- ⁽³⁷⁾ MacLeay, 1873
- ⁽³⁸⁾ Bertrand, 1968

- ⁽³⁹⁾ Balfour-Browne, 1939
- ⁽⁴⁰⁾ MacLeay, 1871
- ⁽⁴¹⁾ Ross, 1975
- ⁽⁴²⁾ Johanson, 1999, 2002, 2003
- ⁽⁴³⁾ Johanson & Mary, 2000
- ⁽⁴⁴⁾ Schmid, 1989
- ⁽⁴⁶⁾ Ward & Mary, 2000
- ⁽⁴⁷⁾ Sykora, 1967
- ⁽⁴⁸⁾ Kelley, 1989
- ⁽⁴⁹⁾ Mosely, 1953
- ⁽⁵⁰⁾ Wells, 1979, 1995
- ⁽⁵¹⁾ Neboiss, 1986
- ⁽⁵²⁾ Mary & Ward, 2001
- ⁽⁵³⁾ Malicky, 1981
- ⁽⁵⁴⁾ Dumbleton, 1969
- ⁽⁵⁵⁾ Johanson & Ward, 2001
- ⁽⁵⁶⁾ Scheffer & Ward, 2002
- ⁽⁵⁷⁾ Ward, 2001
- ⁽⁵⁸⁾ Ward & Scheffer, 2000



ETUDES ET
RECHERCHES BIOLOGIQUES

PROJET GORO NICKEL

ÉCOSYSTÈME D'EAU DOUCE

PART II : STRATEGIES D'ECHANTILLONNAGE ET BIOINDICATEURS



23/03/2005

LES AUTEURS

- Christine Pöllabauer, Docteur ès Sciences (zoologie, biochimie), directrice, spécialisée en hydrobiologie et malacologie ; investigations dans des rivières calédoniennes depuis 1981 ; formation spécialisée et thèse sur les communautés benthiques de rivière (mollusques), formation complétée par diverses études d'impact dans le secteur des mines depuis 1993 (les rivières du massif Tiébaghi, de Pouembout et de la Népoui, de Cap Bocage ont été brièvement inventoriées ainsi que des études pluriannuelles sur les sites miniers dans le Sud).
- Nicolas Bargier, Ingénieur hydrobiologiste, spécialisé dans les IBGN, IPR et les contrats de rivières, coordinateur de bassin versant pendant 3 ans (suivi de qualité pluridisciplinaire). Diverses études d'impact dans le secteur des mines, des plans d'eau stagnants, des cours d'eau et des barrages en Nouvelle-Calédonie depuis début 2004.
- Sophie De Ruyver, biologiste ayant une maîtrise de biologie des organismes et des populations et un DESS en Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, option génie écologique, elle a acquis une expérience professionnelle d'hydrobiologiste durant ses contrats de coordinatrice d'un conseil de bassin de rivière en France et au Québec.

SOMMAIRE

LES AUTEURS	I
I. RAPPEL DES FONCTIONS ET SERVICES RENDUS PAR LES COURS D'EAUX ET LES ZONES HUMIDES	1
I.1. RESERVOIR BIOLOGIQUE	1
I.2. PRODUCTION DES RESSOURCES NATURELLES	1
I.3. UN PATRIMOINE RARE ET PRECIEUX	1
I.3.1 Espèces menacées	1
I.3.2 Conservation des habitats naturel	1
I.3.3 Présence d'espèces à forte valeur patrimoniale	2
I.4. FONCTIONS HYDROLOGIQUES	2
I.5. AUTO-EPURATION	2
I.6. UN EQUILIBRE PARFOIS FRAGILE	2
I.7. ESPACES DE LOISIR ET PAYSAGES DE QUALITE	3
II. STRATÉGIES D'ECHANTILLONNAGE	3
II.1. Choix de la station	3
II.1.1 Critères de choix	3
II.1.2 Paramètres descriptifs	4
II.1.3 Cartographie	4
II.2. Fréquence et calendrier des échantillonnages	5
II.2.1 Les macroinvertébrés	5
II.2.2 Les poissons	6
II.2.3 Episode de stress toxique extrême :	7
II.3. Procédure d'échantillonnage	7
II.3.1 Macroinvertébrés	7
II.3.1.1 Prélèvements en zone peu profonde	7
II.3.1.2 Prélèvements en zone profonde	9
II.3.1.3 Nombre de prélèvements	11
II.3.1.4 Stratégies d'échantillonnage pour les cours d'eau de Nouvelle-Calédonie	11



II.3.2	Poissons	12
III.	EVALUATION DE LA QUALITE DES ECOSYSTEMES D'EAU DOUCE...	15
III.1.	Définition d'un bioindicateur.....	15
III.2.	Principaux indices de qualité des milieux	15
III.2.1	Appréciation de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux	15
III.2.2	Appréciation de la qualité biologique des eaux	16
III.2.2.1	Les indices saprobiques	16
III.2.2.2	Les indices diatomiques.....	16
III.2.2.3	Les Bryophytes.....	16
III.2.2.4	Les Macro-invertébrés benthiques comme indicateurs de qualité du milieu	17
III.2.2.5	Les Poissons comme indicateurs de qualité du milieu	20
III.3.	perturbations anthropiques et indices de qualité des milieux.....	22
III.3.1	Les perturbations de types toxiques	22
III.3.2	Perturbations thermiques.....	24
III.3.3	pH.....	24
III.3.4	Les matières en suspension	24
III.3.5	Modification du régime hydrologique.....	24
III.4.	L'Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie (IBNC).....	25
III.4.1	Principe.....	25
III.4.2	Limites	25
III.5.	Proposition d'un Indice d'intégrité biotique (IIB) pour la Nouvelle-Calédonie.....	25
III.5.1	Objectifs.....	26
III.5.2	Matériel et Méthodes.....	26
III.5.2.1	Schéma d'acquisition des données	26
III.5.2.2	Phase terrain	27
III.5.3	Résultats.....	28
III.5.3.1	Le processus d'évaluation de la qualité d'un cours d'eau	29
III.5.3.2	Paramètres identifiant l'IIB	29
III.5.3.3	Classification	31
III.5.4	Conclusions	31
IV.	CONCLUSIONS	32
V.	BIBLIOGRAPHIE	36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résumé des critères relatifs aux échantillonneurs à filet (d'après Klemm <i>et al.</i> , 1990 <i>in</i> Environnement Canada, 1993)	10
Tableau 2: Méthodes d'échantillonnage des macroinvertébrés en eau douce	12
Tableau 3 : Méthodes d'échantillonnage des poissons en eau douce	13
Tableau 4 : Avantages et conditions d'application des principales techniques d'inventaire des peuplements piscicoles	14
Tableau 5 : Comparaison des différents indices biologiques macroinvertébrés utilisés en France (Agences de l'eau, 2000)	19
Tableau 6 : Eléments bibliographiques sur la polluo-sensibilité des organismes invertébrés aux métaux (Synthèse Agence de l'Eau RMC, Avril 1987)	23
Tableau 7: Paramètres pour la détermination de l'indice d'intégrité biotique calédonien ..	30
Tableau 8 : Classification des cours d'eau selon la Directive européenne adoptée en 2000	31

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Filet de faune en dérive	7
Figure 2 : Echantillonneurs à filets : 1-Hess, 2- Surber	8
Figure 3 : Comparatif des matériels d'échantillonnage	8
Figure 4 : Benne d'Ekman Brige	9
Figure 5 : Inventaire piscicole par pêche électrique	13
Figure 6 : Déroulement de la méthode d'appréciation de l'état écologique des cours d'eau par IIB, l'indice d'intégrité biotique (d'après Schager et Peter, 2002)	29

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : EXEMPLE DE FICHE DESCRIPTIVE D'UNE STATION D'ECHANTILLONNAGE ...	41
ANNEXE II : RAPPEL DES PRINCIPALES TECHNIQUES D'INVENTAIRES DES PEUPLEMENTS PISCICOLES	43
ANNEXE III : SYSTÈME D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES COURS D'EAU (SEQ-EAU, SEQ-PHYSIQUE, SEQ-BIO)	48

I. RAPPEL DES FONCTIONS ET SERVICES RENDUS PAR LES COURS D'EAUX ET LES ZONES HUMIDES

Les cours d'eau et zones humides naturelles assurent de multiples services rendus représentant de nombreux avantages économiques et culturels pour les populations riveraines (Besse & Torre, 2000).

I.1. Réservoir biologique

De nombreuses espèces animales (poissons, crustacés et autres invertébrés) vivent de façon permanente ou transitoire dans les cours d'eau et les zones humides en Nouvelle-Calédonie. Ces derniers assurent ainsi une fonction d'alimentation, de reproduction, mais aussi de refuge. Les lits mineurs des rivières et les zones inondables représentent un milieu important pour les migrations vers les aires de frai de la majorité des espèces de poissons.

I.2. Production des ressources naturelles

L'économie de certaines régions peut dépendre fortement des cours d'eau et zones humides associées de par leur utilisation en agriculture (pâturage, agriculture), pour la pêche artisanale (pour l'autoconsommation) et l'aquaculture (de l'écrevisse *Cherax quadricarinatus*).

I.3. Un patrimoine rare et précieux

Nombreux sont les auteurs qui évoquent le caractère unique, le pourcentage élevé d'endémisme et les richesses en terme de biodiversité des cours et plans d'eau (partie I de l'étude). Le WWF, Fond Mondial pour la Nature, a déclaré les cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie comme une des 256 écorégions du monde¹. Des espèces rares et menacées existent dans la majorité des groupes d'animaux et de végétaux des eaux douces calédoniennes.

I.3.1 Espèces menacées

Citons parmi les espèces menacées inscrites sur la liste rouge deux espèces de poissons *Redigobius bikolanus* et *Eleotris melanosoma*, les deux sont présentes dans les cours d'eau du Grand Sud.

I.3.2 Conservation des habitats naturel

Les habitats d'une forte valeur patrimoniale dans le Grand Sud sont les zones humides de la pleine des lacs avec une espèce endémique de poisson, le *Nesogalaxias neocaledonicus*.

¹ Ecorégion = C'est une des 256 zones sélectionnées par de nombreux scientifiques ; les écorégions représentent 10% des surfaces du globe, regroupant 85% de la biodiversité mondiale (Claude Martin, 2002).

Le Lac en Huit héberge également plusieurs espèces de mollusques endémiques (Starmühlner, 1968), de crevettes (Marquet et al, 2003) et d'insectes (partie I de l'étude).

1.3.3 Présence d'espèces à forte valeur patrimoniale

Les espèces de poissons d'une forte valeur patrimoniale sont les espèces d'un intérêt halieutique (les carpes *Kuhlia rupestris*, cinq espèces d'anguilles (*A. marmorata*, *A. reinhardtii*, *A. australis*, *A. megastoma*, *A. obscura*), les mulets *Cestraeus plicatilis* et *C. oxyrynchus*, *Crenimugil crenilabis*), les éléotridés ou gros lochons, ainsi que les espèces endémiques telles que celles dont la répartition géographique est essentiellement restreinte au Grand Sud (les gobies *Sicyopterus sarasini*, *Insularigobius yateensis*, *Protogobius attiti*, *Schismatogobius fuligimentus*).

1.4. Fonctions hydrologiques

Les zones humides ont une fonction de régulation des régimes hydrologiques des cours d'eau: elles retardent globalement le ruissellement des eaux de pluies et le transfert immédiat des eaux superficielles vers l'aval du bassin versant. Elles constituent souvent des zones d'expansion de crues pour les rivières. De plus, telles des éponges, elles "absorbent" momentanément l'excès d'eau puis le restituent progressivement lors des périodes de sécheresse. Elles diminuent donc l'intensité des crues et soutiennent les débits des cours d'eau en période d'étiage.

1.5. Auto-épuration

Les zones humides contribuent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau des cours d'eau en agissant comme filtre épurateur. En effet, elles favorisent les dépôts de sédiments et elles sont le siège de dégradations biochimiques (notamment grâce aux bactéries), de désinfection (grâce aux ultraviolets), d'absorption, de stockage et de dégradation par les végétaux des éléments nutritifs issus du bassin versant (nitrates, phosphates).

1.6. Un équilibre parfois fragile

L'insularité, les espaces restreints, les cours d'eau souvent de petite taille font que l'équilibre des milieux calédoniens et des écosystèmes est plus fragile que celui du continent. Tout type de menace (dégradation de l'habitat, pollution, espèces introduites, dégradation des berges et de la ripisylve par le feu, etc.) peuvent avoir un impact lourd sur les différents compartiments du milieu aquatique :

Impact sur le biotope :

- Sur le régime hydrologique



- Sur les caractéristiques morphologiques et morphodynamiques
- Sur la ripisylve
- Sur la qualité physico-chimique de l'eau

Impact sur les biocénoses :

- Sur la végétation aquatique
- Sur les macroinvertébrés benthiques
- Sur le peuplement piscicole.

1.7. Espaces de loisir et paysages de qualité

Les rivières et zones humides du Grand Sud sont le support de nombreuses activités touristiques et ludiques représentant un enjeu économique important : loisirs liés à l'eau, tourisme vert, pêche, observation de la nature, animation et sensibilisation à la protection des milieux naturels. Localement, ces fonctions sont à identifier à partir d'une meilleure connaissance des attentes des populations. Les zones humides et cours d'eau font partie de notre patrimoine culturel et paysager.

II. STRATÉGIES D'ECHANTILLONNAGE

Pour réaliser un suivi de qualité des plans d'eau et des rivières de Nouvelle-Calédonie, il conviendrait d'adopter des protocoles d'échantillonnage standard par milieu et par groupe faunistique. Ceux-ci doivent être facilement compréhensibles et reproductibles. Ils nécessitent en outre une adéquation aux normes européennes, nationales et territoriales existantes, et prendre en compte les caractéristiques des habitats et des communautés aquatiques de la Nouvelle-Calédonie et notamment du Grand Sud. Nous proposons ci-dessous les grandes lignes.

II.1. CHOIX DE LA STATION

L'objectif majeur est de démontrer que la faune prélevée ponctuellement sur une station correspond à une réponse biologique aux conditions physico-chimiques locales (mise à part les facteurs plus globaux tels que climat, la géologie ou encore l'hydrologie).

II.1.1 Critères de choix

D'une manière générale, une station représentative se définit comme un segment de cours d'eau dont la longueur se situe aux alentours de 10 à 15 fois la largeur du cours d'eau (Porcher, 1998).

A l'instar de Malavoi (1989), un segment de cours d'eau est caractérisé par une relative homogénéité des faciès ou séquence de faciès ainsi que de la morphologie en plan (par exemple, segment méandriforme à séquence radier/mouille, segment rectiligne à rapides...). Il s'inscrit dans

un tronçon dont les limites sont établies sur la base de paramètres géomorphodynamiques se traduisant par de nettes modifications de la morphologie générale de la rivière.

De même pour les lacs, il faut choisir les stations de manière à maximiser la diversité des types d'habitats échantillonnés. Par exemple, les sites riverains devraient comprendre les zones où le roc sous-jacent est exposé, des galets, du sable, de la vase, des débris organiques, des macrophytes enracinés, des zones où la nappe phréatique remonte, différents niveaux d'exposition aux vagues, différents types de végétation riveraine et les charges et décharges du lac (Rosenberg *et al.*, 2001).

II.1.2 Paramètres descriptifs

Les principales caractéristiques de la station doivent être portées dans une fiche descriptive qui renseigne avec précision les conditions d'environnement dans lesquelles se situe la biocénose, que celles-ci soient stables et dépendantes du choix de la station :

- altitude,
- caractéristiques du lit,
- granulométrie du fond, etc.,

ou variables en fonction de la période de l'année :

- vitesse d'écoulement,
- profondeur,
- végétation aquatique,
- ensoleillement, etc.

ou encore liées aux caractéristiques physico-chimiques de l'eau :

- température,
- pH,
- concentration d'oxygène dissous,
- matières en suspension (d'après Agences de l'eau, 2000).

Ces données seront utilisées, par la suite, pour l'interprétation de l'inventaire faunistique. Un exemple de fiche descriptive est présenté à l'annexe I.

II.1.3 Cartographie

Pour permettre des comparaisons, notamment lorsque les opérateurs sont différents, il est conseillé de cartographier la station en indiquant l'emplacement des habitats échantillonnés. Cela permet, outre une bonne appréhension de la nature de la station, de prélever à chaque passage les mêmes habitats ou d'apprécier leur éventuelle modification. Il est généralement suffisant de cartographier les deux paramètres les plus importants :

- le substrat
- et le mode d'écoulement (Agences de l'Eau, 2000).

II.2. FREQUENCE ET CALENDRIER DES ECHANTILLONNAGES

L'utilisation de méthodes normalisées implique l'élaboration d'un planning déterminant la fréquence et le calendrier d'échantillonnage.

II.2.1 Les macroinvertébrés

Mary (1999) a mis en évidence une faible variabilité temporelle de la structure des peuplements benthiques des rivières de Nouvelle-Calédonie. Celle-ci est essentiellement reliée aux variations d'abondance de la plupart des taxons ubiquistes récoltés en densité plus importante à l'étiage (octobre à décembre). Ces différences d'abondances et d'occurrences peuvent être expliquées par les variations climatiques des régimes hydrologiques. Les conditions de l'étiage sont plus stables que celles de janvier ou de juin (saisons des pluies) et favoriseraient le développement des communautés benthiques. Les richesses spécifiques maximales sont d'ailleurs trouvées à l'étiage. Cette période semble donc être la meilleure saison d'échantillonnage pour l'étude de la faune benthique.

Cependant, un prélèvement unique est habituellement insuffisant pour caractériser complètement un système aquatique (Rosenberg *et al.*, 2001). Une série pluriannuelle de données pourrait être nécessaire pour établir convenablement l'intervalle des variations de la structure de la communauté et sa productivité.

La durée de la présence de larves, de nymphes ou d'adultes (les stades les plus utiles à la taxinomie) change en fonction des variations saisonnières d'une année à l'autre. Des dates de prélèvement fixes à un seul moment de l'année peuvent donc donner une image incomplète des peuplements aquatiques par rapport à la réalité. De ce fait, il est recommandé de collecter les échantillons deux fois dans l'année (à deux saisons différentes) ou bien deux fois en période d'étiage, à un mois d'intervalle.

Compte-tenu du contexte calédonien, deux campagnes de prélèvement d'échantillons sont conseillées comme suit :

- Une première campagne au printemps austral qui correspond à la période d'étiage, lorsque la majorité des formes larvaires sont présentes mais n'ont pas encore entrepris leur maturation définitive ;
- Une seconde campagne en automne (avril-juin), après que la plupart des espèces se soient accouplées et que les immatures se soient développés au cours de l'été.

II.2.2 Les poissons

La période de prospection la plus favorable pour les cours d'eau se situe entre le printemps et l'automne à la fin de l'été¹.

Un inventaire de base d'un cours d'eau nécessite une station d'échantillonnage de 100m linéaire par kilomètre de rivière (La Violette N., 2003). Un suivi annuel peut ensuite être réalisé une à trois fois par an (une campagne / saison). Si un seul échantillonnage annuel est réalisé, il doit être programmé de préférence à la fin de l'été pour assurer la capture et l'identification des juvéniles (Porcher, 1998). Sur les grands cours d'eau, sur ceux où la variabilité spatiale est élevée ainsi que dans les cours d'eau à faible densité, deux prospections annuelles au minimum sont conseillées.

Dix années d'expérience de pêche électrique dans les cours d'eau calédoniens de notre bureau d'étude ont montré qu'une seule campagne de pêche effectuée en période d'étiage permet de capturer entre 30 à 60% des espèces de poissons d'une rivière. Ceci donne une image incomplète et sous-évaluée des populations faunistiques réellement présentes. La densité des poissons dans les rivières sur terrain minier est généralement faible mais le taux d'endémisme élevé. De ce fait, il est conseillé, de réaliser un inventaire de suivi en deux campagnes, dont une en période d'étiage au printemps (septembre à novembre) et la deuxième en automne austral (mi-avril à fin mai), une saison de transition entre la saison chaude et la saison fraîche. Deux campagnes annuelles semblent importantes pour les raisons suivantes :

- Ø Les conditions environnementales sont plus favorables, en automne qu'à la période d'étiage,
- Ø les espèces migratrices rares ou absentes en périodes d'étiage seront présentes en saison de transition et pourront être inventoriés,
- Ø les juvéniles issus des périodes de ponte au printemps austral remonteront les rivières et seront présents dans les cours d'eau,
- Ø les migrations de quelques espèces ont lieu au printemps (Kuhliidae, Mugilidae) d'autres sont déclenchées par la baisse de température des cours d'eau (Eleotridae), ou encore les reproductions peuvent avoir lieu toute l'année (Gobiidae, *Sicyopterus*).
- Ø Multiplier par deux les campagnes à deux saisons différentes permettrait de capturer 75 à 90% des espèces présentes et compléter d'une manière importante un inventaire de suivi.

¹ Guide sur la prise en compte des milieux naturels dans les études d'impact, Midi-Pyrénées.

II.2.3 Episode de stress toxique extrême :

En cas d'épisode de stress toxique (déversement accidentel de produits à forte toxicité), il est recommandé d'effectuer des prélèvements immédiatement après l'incident et de réaliser un suivi 3 mois, 6 mois et 1 an après l'incident afin d'évaluer la capacité du milieu à se reconstituer.

II.3. PROCEDURE D'ECHANTILLONNAGE

II.3.1 Macroinvertébrés

Les procédures d'échantillonnage et les matériels utilisés pour la collecte des macroinvertébrés varient principalement en fonction de la profondeur d'eau et de la mobilité des groupes taxonomiques.

II.3.1.1 Prélèvements en zone peu profonde

Pour les prélèvements le long de la rive des lacs et dolines et pour les cours d'eau peu profonds (jusqu'à 1,20 m de profondeur) on peut utiliser et combiner les techniques suivantes :

- *Collecte manuelle* des invertébrés pélagiques et benthiques sur substrat dur (roche, blocs, graviers) (Robertson et Piwowar, 1985).
- *Filets de faune en dérive*

Les filets de faune en dérive permettent de collecter les invertébrés en dérive. Ils sont placés dans le courant et laissés sur place 12 ou 24 heures.



Figure 1 : Filet de faune en dérive

- *Echantillonneurs à filet (Hess, Surber, ...)*. Le tableau 1 fournit un résumé des caractéristiques, avantages et inconvénients des principaux échantillonneurs de ce type (figure 1).

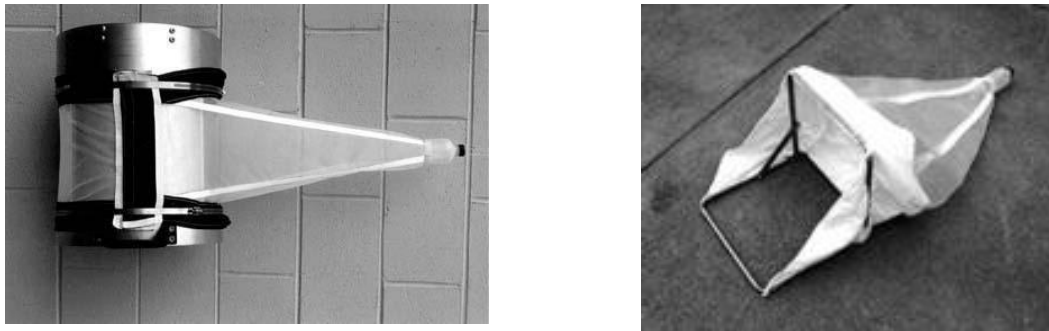


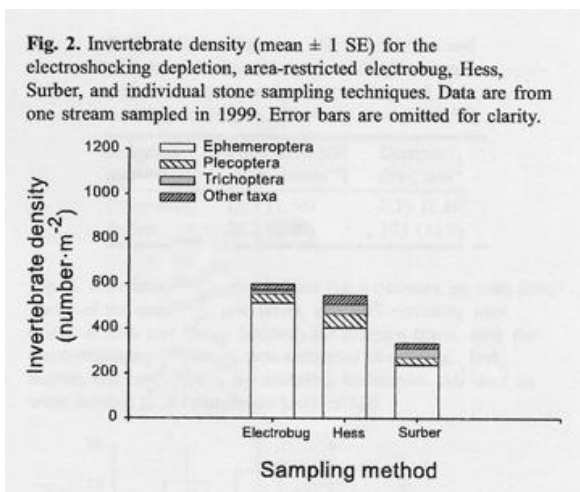
Figure 2 : Echantillonneurs à filets : 1-Hess, 2- Surber

- *Appareillage de pêche électrique*. Les méthodes basées sur la pêche électrique peuvent fournir des estimations précises de la densité et de la diversité des populations de macroinvertébrés, minimiser la perturbation des habitats benthiques et réduire le temps de manipulation des échantillons. Ainsi le rendement pour les espèces mobiles (mollusques, crustacés Atyidae, éphéméroptères, diptères, etc.) est nettement supérieur par pêche électrique associé à un échantillonneur Hess que les méthode classique de collecte manuelle (tableau 1) (Taylor *et al.*, 2001).

Figure 3 : Comparatif des matériels d'échantillonnage

(d'après Taylor, McIntosh, Peckarsky, 2001)

Electrobug = échantillonneur Hess à l'électricité,
Hess = échantillonneur Hess sans électricité,
Surber = échantillonneur surber



Taylor (2001) a effectué une étude comparative sur l'efficacité de cinq techniques d'échantillonnage : la pêche électrique dans un échantillonneur de Hess modifié, la pêche électrique répétée sur une grande surface pour estimer la population par retraits successifs, l'utilisation de l'échantillonneur de Surber classique, l'utilisation de l'échantillonneur de Hess et la récolte manuelle sur des pierres individuelles. La méthode d'estimation avec retraits par pêche électrique sur une grande surface a fourni des estimations plus élevées des densités des éphéméroptères, des plécoptères et des trichoptères. La méthode de Hess et la pêche

électrique sur surface réduite ont donné des estimations similaires de densité et de diversité, alors que la méthode de Surber a fourni des estimations basses, particulièrement des taxons mobiles. Les estimations obtenues par récolte sur les pierres individuelles étaient trop élevées, les éphéméroptères y été surreprésentés et la richesse en espèces basse.

- *Nasses*. Cette technique permet d'échantillonner les plus gros invertébrés comme les crevettes ou les larves de libellules (Rosenberg *et al.*, 2001).
- *Substrats artificiels*. On peut avoir recours aux substrats artificiels lorsque l'échantillonnage ne peut pas être normalisé en fonction de caractéristiques de l'habitat naturel ou lorsque l'échantillonnage des communautés naturelles est pratiquement irréalisable (grands rapides par exemple) (Environnement Canada, 1993).

II.3.1.2 Prélèvements en zone profonde

D'autres techniques s'appliquent plus particulièrement au prélèvement au large des lacs et aux cours d'eau profonds :

Bennes échantillonneuses (Figure 2): le prélèvement à la benne est particulièrement efficace pour les substrats finement granulés ou meubles (Rosenberg *et al.*, 2001). La grande benne Ekman est l'équipement de prélèvement le plus populaire pour les lacs (Burton et Flannagan, 1973). La benne Ekman prélève un échantillon sur une aire égale de substrat, ce qui donne une estimation quantitative du nombre d'organismes par mètre carré ou biomasse (Rosenberg *et al.*, 2001).

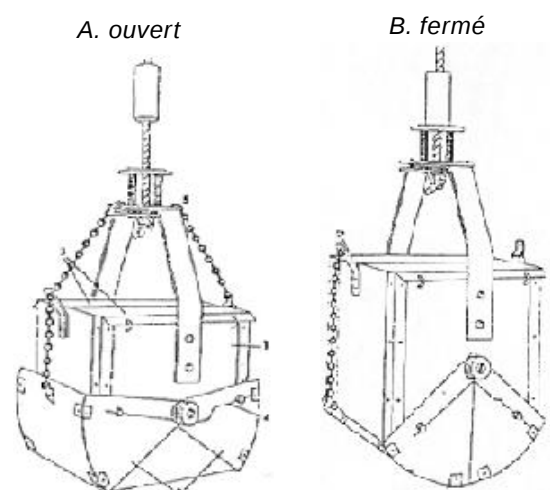


Figure 4 : Benne d'Ekman Brige
1= corps, 2= mâchoire, 3= battants, 4=ressorts des mâchoires, 5= déclencheur

- *Coup de chalut vertical la nuit*. Un coup de chalut vertical de nuit permet de capturer les invertébrés qui sont benthiques de jour mais planctoniques la nuit.
- *Echantillonneurs à succion*. On a largement utilisé divers échantillonneurs à succion pour échantillonner les macroinvertébrés (Klemm *et al.*, 1990 in Environnement Canada, 1993). En général, ils sont employés sur des substrats rocheux qui ne conviennent pas aux bennes échantillonneuses.

Tableau 1 : Résumé des critères relatifs aux échantillonneurs à filet (d'après Klemm *et al.*, 1990 in Environnement Canada, 1993)

Type d'échantillonneur	Habitats et substrats échantillonnés	Efficacité	Avantages	Inconvénients
Echantillonneur Surber	Cours d'eau de moins de 100 cm de profondeur (norme AFNOR T90-350), avec un courant moyen à élevé ; Substrats de graviers, sable, végétation aquatique	Assez bon échantillonneur quantitatif lorsque utilisé par un biologiste expérimenté La performance dépend du courant et du substrat	Entoure une superficie standard échantillonnée. Se transporte ou s'installe facilement. Matériel recommandé par la norme AFNOR de l'IBGN (taille de maille 500µ)	Difficile à mettre en place dans quelques types de substrats, tels que grosses pierres rugueuses ou vase Ne peut pas être utilisé efficacement dans les cours d'eau tranquilles, à courant lent Peu efficace pour les taxons mobiles. Risque d'endommager les espèces lors des manipulations
Boîte échantillonneuse portable pour les invertébrés, échantillonneur Hess (cylindrique, 40cm de haut) échantillonneur Hess pour le fond des cours d'eau, échantillonneur de la faune du lit des cours d'eau, échantillonneur cylindrique Neill, échantillonneur en T	De par sa hauteur (40cm) adapté à tous les types de substrat, peut s'enfoncer dans le substrat meuble, etc.	Plus efficace pour toutes les espèces mobiles, les animaux sont en meilleur état puisque aucune manipulation du substrat n'est nécessaire Matériel innovant	Entoure une superficie standard échantillonnée. Se transporte ou s'installe facilement. Plus grande efficacité: rendement 30 à 50% supérieur pour les espèces mobiles (Taylor, 2001)	Méthode plus coûteuse : nécessite un appareil de pêche électrique et du personnel qualifié pour ce type de prélèvement Méthode innovatrice peu connue Rendement plus faible pour les espèces sessiles fixées au substrat
Filets dérivants	Rivières et ruisseaux à bon courant Tous les types de substrats	Assez bon rendement quantitatif et efficace pour ramasser tous les taxons qui dérivent dans la colonne d'eau Performance dépend de la vitesse du courant et de la période d'échantillonnage	Faible erreur d'échantillonnage Economie de temps, d'argent et d'effort Recueille les macroinvertébrés de tous les substrats, recueille habituellement plus de taxons	Provenance des organismes inconnue Espèces terrestres peuvent constituer une grande partie de l'échantillon en été et aussi lorsqu'il vente et qu'il pleut Se limite aux organismes dérivants

Par ailleurs, lors de la visite d'un site de collecte d'échantillons aquatiques, il est intéressant de balayer la végétation des rives avec un filet fauchoir pour recueillir les insectes adultes. Si nécessaire, on peut normaliser le prélèvement en passant le filet pendant un temps déterminé ou au-dessus de la même zone déterminée. Les spécimens recueillis ne permettent pas seulement de caractériser qualitativement la biodiversité, mais constituent un matériel de référence précieux pour l'identification des formes aquatiques immatures de la même espèce. On peut aussi capter les spécimens à l'aide d'un piège à lumière ou un piège à eau (Rosenberg *et al.*, 2001).

II.3.1.3 Nombre de prélèvements

En ce qui concerne le nombre de prélèvements par station, des études (Lionnet et Nicod, 1982, In Verneaux, 1982) ont montré que 8 prélèvements dans 8 habitats distincts, l'habitat étant caractérisé par un couple substrat-vitesse, permettaient de récolter en règle générale près de 95% des taxons présents dans la station. La norme nationale (AFNOR T-90 350) stipule également la réalisation de 8 échantillons / station. En Nouvelle-Calédonie on utilise 6 prélèvements / station pour établir l'IBNC. Nous conseillons néanmoins d'adapter la norme nationale et de réaliser 8 échantillons par stations. La richesse unique et la biodiversité des cours d'eau calédoniens justifient pleinement une telle démarche.

II.3.1.4 Stratégies d'échantillonnage pour les cours d'eau de Nouvelle-Calédonie

En tenant compte des caractéristiques des différentes stratégies d'échantillonnage citées plus haut et de 20 années d'expérience acquise sur le terrain par notre bureau d'étude, il est possible de proposer des méthodes d'échantillonnage adaptées aux cours d'eau du territoire. Ces méthodes d'échantillonnage en eau douce sont présentées au tableau 2.

Tableau 2: Méthodes d'échantillonnage des macroinvertébrés en eau douce

	Type d'habitat	Moyens techniques	Surface / unités
MACROINVERTEBRES	Pleine eau	Filets de faune en dérive	3 filets / nuit / station
	Substrat graveleux, sableux	Surber, Hess	0,05m ² x 8 échantillons par station (AFNOR NF-T 90-350)
	Vase, eaux stagnantes	Epuisettes, haveneau	5 – 10m ² x 2 passages x 5 sites
		Hess + électricité	0,05m ² x 8 / station
	Fond meuble profond	Benne d'Ekman	5 en profondeur moyenne et 5 en zone profonde

II.3.2 Poissons

Les principales techniques d'inventaires des peuplements piscicoles sont la pêche électrique et l'utilisation de filets :

- La pêche électrique est adaptée aux eaux peu profondes (inférieures à 1,20 m), claires et à tout type de courant.
- La pêche au filet est plus particulièrement adaptée aux rivières larges (plus de 25m) et aux lacs. Dans les grands cours d'eau, l'échantillonnage par pêche aux filets est un complément utile. Ces filets sont installés principalement dans les endroits plus profonds, là où l'efficacité des autres engins de pêche est moins bonne, de manière à capturer les poissons qui se déplacent entre deux eaux.

Un rappel de la mise en application de ces techniques est présenté en Annexe II. Le tableau 2 présente quant à lui les avantages et les conditions d'application de ces deux techniques.

Ces techniques d'inventaire piscicole peuvent être complétées par la pêche à la nasse particulièrement adaptée aux eaux profondes (plus d'un mètre) et troubles ayant parfois une végétation intense. Elle permet notamment de capturer des espèces carnassières de grande taille.

La technique d'échantillonnage basée sur la pêche électrique est probablement la mieux adaptée aux cours d'eau de Nouvelle-Calédonie étant donné la faible profondeur des rivières du Territoire, la pêche au filet et à la nasse restant néanmoins des techniques d'inventaire complémentaires. Il convient cependant d'adapter la Norme européenne concernant la pêche électrique (NF EN 14011) par rapport au contexte calédonien. En effet, pour obtenir une image représentative d'une communauté piscicole d'un cours d'eau, la norme

européenne concernant la pêche électrique NF EN 14011 conseille les démarches suivantes :

- La stratégie d'échantillonnage doit se baser sur une communauté piscicole optimale et un écosystème en bonne santé. Dans le cas de la zone d'étude de Goro Nickel, il conviendrait de choisir parmi quelques rivières de référence ayant un écosystème intègre: la rivière Carénage, la rivière du Trou bleu, la Rivière Bleue de Prony ou encore la Fausse Yaté.
- La stratégie doit définir la longueur des tronçons à échantillonner (un tronçon de 50m pour des cours d'eau d'une largeur de 5 à 15m pour un rendement minimum de 200 poissons). Les effectifs de poissons pêchés dans les rivières calédonniennes sont souvent largement inférieurs à 200 pour 50 à 100m linéaire. Il convient donc de maintenir une longueur de tronçon de 100m pour des contraintes de temps/coûts.

En tenant compte des caractéristiques des différentes stratégies d'échantillonnage citées plus haut et des 20 années d'expérience acquise sur le terrain par notre bureau d'étude, il est possible de proposer des méthodes d'échantillonnage adaptées aux cours d'eau du territoire. Ces méthodes d'échantillonnage en eau douce sont présentées au tableau 4.

Tableau 3 : Méthodes d'échantillonnage des poissons en eau douce

	Type d'habitat	Moyens techniques	Surface / unités
POISSONS	Profondeur >1m, tout substrat, bonne visibilité	Pêche électrique	100m linéaire x n (selon norme NF EN 14011)
POISSONS benthiques	Eaux troubles, profond	Nasses	à définir
POISSONS pélagiques	Eaux troubles, profond	Filets	à définir



Figure 5 : Inventaire piscicole par pêche électrique

Tableau 4 : Avantages et conditions d'application des principales techniques d'inventaire des peuplements piscicoles

(Source : <http://www.sciences.fundp.ac.be/urbo/services.html>)

Technique d'inventaire piscicole	Avantages	Conditions d'application
Pêche électrique (appareil portable)	• grande efficacité de capture jusqu'à une profondeur d'1,20m, • respect de la vie des organismes prélevés, • conditions opératoires standardisées (Norme NF EN 14011) et reproductibles offrant une grande cohérence des résultats.	• étangs, lacs et cours d'eau de faible profondeur >1,20m • proximité des berges des cours d'eau plus profonds • bonne visibilité
Filet	• choix de la taille de la maille du filet, ce qui permet de cibler la taille des poissons que l'on souhaite capturer (mailles dégressives), • en fonction de cette taille, choix éventuel des espèces cibles, • conditions opératoires standardisées (Norme européenne prEN 14757 pour l'échantillonnage des poissons dans les lacs) et reproductibles offrant une grande cohérence de résultats, • selon la profondeur d'immersion du filet, choix de la zone qui sera échantillonnée.	• lacs et cours d'eau de plus de 1,20m de profondeur, • cette technique s'accommode mal des zones garnies de débris car les filets s'y accrochent et s'y déchirent. • Peu ou pas de courant

III. EVALUATION DE LA QUALITE DES ECOSYSTEMES D'EAU DOUCE

III.1. DEFINITION D'UN BIOINDICATEUR

La gamme des paramètres caractérisant l'état des systèmes aquatiques s'est progressivement enrichie de variables biologiques : les bioindicateurs.

Définition de bioindicateurs : « Organismes ou ensembles d'organismes qui par référence à des variables biochimiques, cytologiques physiologiques, ethologiques ou écologiques- permettent, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications naturelles ou provoquées » (Blandin, 1986).

Les bioindicateurs sont composés d'éléments situés aux différents niveaux de complexité de l'édifice biologique : au niveau cellulaire et tissulaire (biomarqueurs), au niveau des organismes (bioessais) et au niveau des peuplements (indicateurs biocénétiques). Ils appartiennent à l'ensemble plus vaste des indicateurs d'état de l'écosystème aquatique qui comportent des variables chimiques et physiques. Avec la modélisation écologique, ils représentent les deux types d'approche scientifique des écosystèmes. C'est dans ce cadre que les bioindicateurs constituent des instruments privilégiés d'aides à la gestion de la ressource en eau et qu'ils trouvent des applications dans la prévision d'impact, dans le constat d'impact à posteriori et dans la surveillance à long terme de l'état des écosystèmes et écosystèmes (Khalanski et Souchon, 1994).

III.2. PRINCIPAUX INDICES DE QUALITE DES MILIEUX

Plusieurs indicateurs d'état des milieux aquatiques ont été élaborés afin de mieux rendre compte de la qualité de ces milieux. Si l'évaluation des cours d'eau reposait autrefois surtout sur des méthodes d'analyse chimique de la qualité de l'eau, elle fait aujourd'hui de plus en plus appel à des méthodes biologiques qui se servent d'organismes vivant dans les milieux étudiés comme indicateurs de leur état écologique (Schager et Peter, 2002).

III.2.1 Appréciation de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux

L'Indice de la qualité bactériologique et physico-chimique (IQBP) est un indice couramment utilisé. Il permet d'évaluer la qualité générale de l'eau. Cet indice est basé sur des descripteurs conventionnels de la qualité de l'eau et intègre normalement 10 variables : le phosphore, les coliformes fécaux, la turbidité, les matières en suspension, l'azote ammoniacal, les nitrites-nitrates, la chlorophylle « a » totale, le pH, la DBO5 et le pourcentage de saturation en oxygène dissous. Dans certains cas, en raison de la disponibilité des données ou de particularités régionales naturelles, un nombre inférieur de

descripteurs peut avoir été sélectionné. Pour chacun des descripteurs retenus, la concentration mesurée est transformée, à l'aide d'une courbe d'appréciation de la qualité de l'eau, en un sous-indice variant de 0 (très mauvaise qualité) à 100 (bonne qualité). L'IQBP d'un échantillon donné correspond au sous-indice du descripteur présentant la valeur la plus faible. L'IQBP attribué à une station d'échantillonnage pour une période donnée correspond à la valeur moyenne des IQBP obtenus pour tous les prélèvements réalisés pendant cette période (Gouvernement du Québec, 2002).

III.2.2 Appréciation de la qualité biologique des eaux

Les procédés biologiques présentent l'avantage de livrer une mesure intégrative, c'est-à-dire qu'ils ne décrivent pas uniquement les conditions régnant au moment de l'étude, mais qu'ils indiquent également les facteurs défavorables qui vont se maintenir sur une longue période de temps (d'après Bastian & Schreiber, 1999).

III.2.2.1 Les indices saprobiques

Les indices saprobiques s'appuient sur la connaissance du profil écologique des bactéries, des algues et des protozoaires (Sladeczek, 1973). Ils caractérisent le degré de pollution des eaux douces. Il s'agit sans doute du système d'évaluation biologique le plus ancien, toujours très utilisé en Europe de l'Est (Khalanski et Souchon).

III.2.2.2 Les indices diatomiques

Une dizaine d'indices diatomiques ont été définis. Deux d'entre eux ont prouvé leur capacité à répondre aux pollutions organique, saline et à l'eutrophisation (Prygiel et Coste, 1992) : l'IPS de Coste (Cemagref, 1982) qui utilise tous les taxons identifiés dans les relevés et l'indice CEE 88 (Descy et Coste, 1989). En France, les indices diatomiques sont utilisés en routine par des Agences de l'Eau dans le cadre du Réseau national de bassin (Prygiel et Coste, 1992) et par le Cemagref (Barbe *et al.*, 1990).

III.2.2.3 Les Bryophytes

Les bryophytes aquatiques (mousses) sont un support analytique utilisé depuis les années 70 pour détecter des radioéléments puis des pollutions métalliques dans les cours d'eau. Une analyse des données collectées sur le bassin Rhône Méditerranée Corse (France) en 1984-85, effectuée dans une étude Inter-Agences (André B. et Lascombe C., 1985) et les travaux de Mouvet *et al* (1986, 1993, 1994), ont mis en évidence l'intérêt de ces végétaux fixés, pérennes, résistants aux pollutions minérales et organiques et présentant un grand pouvoir d'accumulation.

Les mousses intègrent localement le niveau de contamination de l'eau sur le long terme mais elles sont aussi de bons indicateurs des augmentations transitoires de la contamination métallique des eaux, elles permettent ainsi de détecter des pointes de pollutions. Il pourrait donc s'avérer intéressant de faire des essais d'analyses de bryophytes des cours du Grand Sud pour détecter le pouvoir de bioaccumulation.

III.2.2.4 Les Macro-invertébrés benthiques comme indicateurs de qualité du milieu

Les indices de qualité biologique fondés sur la variété taxonomique des macroinvertébrés benthiques et la présence de taxons indicateurs (principalement des larves d'insectes), sont les plus couramment utilisés (Khalanski et Souchon).

En effet, le benthos combine un grand nombre d'avantages dans l'appréciation globale de la qualité des milieux par rapport aux autres groupes faunistiques ou floristiques, parmi lesquels :

- Sa répartition dans l'ensemble des écosystèmes aquatiques,
- Sa grande diversité taxonomique et le fait qu'il regroupe de nombreuses espèces bio-indicatrices et constitue des biocénoses souvent variées,
- La relative stabilité dans le temps et dans l'espace de populations suffisamment sédentaires pour établir une bonne correspondance avec les conditions du milieu,
- La sensibilité de ces organismes au climat stationnel à travers la qualité de l'eau et du substrat,
- Sa situation à plusieurs niveaux trophiques du système (consommateurs primaires et secondaires, décomposeurs),
- La facilité d'échantillonnage et la bonne conservation des échantillons.

Les invertébrés constituent donc de bons intégrateurs de la qualité globale de l'écosystème aquatique et sont facilement exploitables (Agences de l'eau, 2000). Néanmoins, la richesse des taxons calédoniens, les clés d'identifications insuffisantes ainsi que le grand nombre d'espèces découvertes dernièrement ou non encore décrites rendent les identifications parfois longues et difficiles.

Différentes méthodes ont été utilisées en France, depuis l'Indice Biotique (Ib, Verneaux et Tuffery, 1967) adapté du Biotic Index utilisé par la Trent River Authority en Angleterre (Woodiwiss, 1964), suivi de l'Indice de Qualité Biologique Globale (I.Q.B.G., Verneaux et al, 1976), puis de l'Indice Biologique de Qualité Générale (I.B.G. Verneaux et coll., 1982), proposé comme indice expérimental (Indice Biologique Global, AFNOR, 1985), normalisé enfin sous l'appellation « Indice Biologique Global Normalisé » (I.B.G.N., AFNOR, 1992). Ces indices permettent d'évaluer la santé de l'écosystème d'une rivière par l'analyse des macroinvertébrés benthiques. Ils constituent une expression synthétique de la qualité du

milieu toutes causes confondues. Leur évaluation repose, d'une part, sur le nombre total de taxons recensés (variété taxonomique) et, d'autre part, sur la présence ou l'absence de taxons choisis en fonction de leur sensibilité à la pollution (groupe faunistique indicateur) (Gouvernement du Québec, 2002). La comparaison de leurs différentes caractéristiques est résumée dans le tableau 5. En Nouvelle-Calédonie un indice biotique répondant aux pollutions organiques a été élaboré (IBNC Mary, 1999), son application est néanmoins restreinte à ce type de pollution et ne peut être employé comme indice de qualité sur terrain minier qu'en cas de pollution organique.

D'autres indices ont été développés en se basant sur les principes des saprobies. Il s'agit des méthodes dites des scores. A chaque taxon indicateur est attribué un score en relation avec sa tolérance à la pollution. Les organismes les plus polluo-tolérants possèdent le score le moins élevé. La note finale indiquant la qualité d'une station est obtenue en effectuant la somme des scores des taxons indicateurs qui s'y trouvent. Un indice moyen de la station peut être calculé en divisant la note finale par le nombre total de taxons indicateurs prélevés sur le site (Mary, 1999). La première méthode proposant des Scores fut développée par Chandler (1970) sous le nom de Biotic Score (CBS). Plusieurs indices s'en sont adaptés dont l'Empirical Biotix Index mis au point par Chutter (1972) pour l'évaluation de la qualité des rivières d'Afrique du Sud, le Biological Monitoring Working Party (BMWP) score system développé pour les cours d'eau d'Angleterre (Chesters, 1980), le MCI (Macroinvertebrate Community Index) mis au point en Nouvelle-Zélande (Stark, 1985), le Biological Monitoring Water Quality (BMWQ) réalisé pour la Péninsule Ibérique (Camargo, 1993) et le SIGNAL (Stream Invertebrate Grade Number Average Level) indice biotique élaboré en Australie (Chessman, 1995).

Dans les milieux où le prélèvement direct des organismes est difficile, voire impossible (cours d'eau profonds aux rives abruptes ou canalisés), le recours à des substrat artificiels immergés pendant quelques semaines permet l'étude de la faune qui a colonisé ces supports et éventuellement la détermination d'un indice de qualité biologique potentielle (IQBP) (Verneaux *et al.*, 1976).

Enfin, des indices ayant une signification trophique dans les lacs ont été définis sur les Oligochètes (Lafont, 1991 et 1992) et sur les Mollusques (Mouthon, 1992). La grande diversité taxonomique des Oligochètes des sédiments fins permet d'envisager l'usage d'indices caractérisant d'autres types de pollutions comme la contamination des sédiments par les métaux lourds (Risso *et al.*, 1992).

Tableau 5 : Comparaison des différents indices biologiques macroinvertébrés utilisés en France (Agences de l'eau, 2000)

	Indice Biotique	Indice de Qualité Biologique Globale	Indice Biologique Global	
	Ib 1967	IQBG 1976	IBG expérimental 1985	I.B.G.N. 1992
Echantillonnage	3 prélèvements en faciès lotique (courant) 3 prélèvements en faciès lentique (calme)	6 prélèvements effectués en fonction de couples granulométrie/vitesse de courant, repérés par ordre d'habitabilité	8 prélèvements en fonction de couples granulo-végétation / vitesse de courant, repérés par ordre d'habitabilité	Idem I.B.G. Modification de l'ordre des supports dans le protocole d'échantillonnage
Matériel	- Surber 1/10 m2 (courant) - Drague ou filet troubleau (calme)	Idem Ib	Surber (1/20 m2) transformable en haveneau (courant + calme)	Idem I.B.G. exp.
Identification taxonomique	Unité systématique (U.S.) variable selon les groupes (ordre, classe, famille ou genre)	Idem Ib mais mieux adapté aux connaissances taxonomiques	Unité taxonomique très généralement la famille (sauf exception)	Idem I.B.G. exp.
Méthode de détermination de l'Indice	Tableau : - 7 groupes faunistiques repères (= 16 indicateurs) subdivisés en 2 selon le nombre d'U.S. représentées - 5 classes de variété taxonomique (nbre d'U.S.) avec limite inf. de la classe maxi à 16 U.S.	Tableau : - 8 groupes faunistiques repères (=25 indicateurs) subdivisés en 2 selon le nombre d'U.S. - Idem Ib, avec limite inf. de la classe maxi à 31 U.S.	Tableau : - 8 groupes faunistiques repères non subdivisés (=38 indicateurs) - 12 classes de variété taxonomique avec limite inf. de la classe maxi à 40 U.S., et répertoire de 135 taxons pris en compte	Tableau ajusté : - Déplacement de taxons indicateurs - 14 classes de variété avec limite inférieure de la classe maxi à 50 U.S. et répertoire de 138 taxons
Seuil de représentativité (=nombre mini). d'individus nécessaires pour la prise en compte du taxon	2	2	1 pour la variété taxonomique 3 pour les taxons indicateurs	1 pour la variété taxonomique 3 ou 10 pour les taxons indicateurs
Notation	- Ind. Biotique lotique Ibc/10 - Ind. Biotique lentique Ibl/10 - Ind. Biotique moyen Ib/10= (Ibc+Ibl) / 2	Indice / 20	Indice global / 20	Indice global / 20

Aucun de ces indices, élaborés pour des biocénoses associées à des zones géographiques bien précises, n'est cependant directement applicable aux cours d'eau calédoniens. La Nouvelle-Calédonie présente, en effet, une composition faunistique spécifique que ce soit au niveau de la composition taxonomique (absence de certains taxons) ou encore de la présence d'espèces endémiques. Par ailleurs, le manque de connaissances sur la polluosensibilité des espèces ne permet pas l'identification de taxons indicateurs notamment pour les pollutions d'origine minière.

III.2.2.5 Les Poissons comme indicateurs de qualité du milieu

Les poissons sont en général de bons indicateurs pour les effets à long terme (sur plusieurs années) et pour caractériser les habitats à grande échelle étant donné qu'ils vivent relativement longtemps et sont assez mobiles (Karr et al ; 1996 dans Schager et Peter, 2002). Les poissons sont de bons bioindicateurs pour les raisons suivantes :

- Les poissons sont présents dans presque toutes les eaux,
- Etant donné la complexité et la spécificité de leurs exigences par rapport à l'habitat, les poissons sont de bons indicateurs de l'état hydrologique et morphologique des eaux dans lesquelles ils évoluent,
- Les espèces appartenant à une ichtyocénose sont représentatives de plusieurs niveaux trophiques (espèces insectivores, planctonivores, omnivores, piscivores et herbivores),
- De par leur comportement migratoire, les poissons ne sont pas seulement indicateurs d'habitats spécifiques mais aussi de leur connectivité à différents niveaux spatio-temporels,
- Les poissons présentent une durée de vie relativement longue, ce qui permet d'intégrer une dimension temporelle dans l'évaluation de l'état des cours d'eau,
- Les espèces de poissons sont relativement faciles à déterminer,
- La distribution historique des poissons est bien documentée et peut servir de référence pour la situation actuelle,
- On dispose généralement de bonnes connaissances sur l'écologie des poissons.

(Schager et Peter, 2002)

Les méthodes d'évaluation basées sur les poissons citées dans la littérature se servent généralement de l'indice créé par Karr (1981), l'« Index of Biotic Integrity » (IBI) (indice d'intégrité biotique) ou de ses multiples variantes. A l'origine, cet indice a été mis au point pour des régions de l'Ouest des Etats-Unis qui présentent un nombre relativement élevé d'espèces piscicoles. Les critères auxquels il fait appel relèvent de divers niveaux

d'observation qui vont de l'individu jusqu'à l'écosystème en passant par la population (Schager et Peter, 2002).

Les principales caractéristiques de l'IBI sont les suivantes (Schager et Peter, 2002) :

- L'IBI est une méthode à paramètres multiples qui, par choix d'une palette de critères d'évaluation écologiques pertinents, rend bien compte de la complexité des systèmes biologiques et des influences anthropogéniques qu'ils subissent.
- Il faut se représenter les paramètres dont tient compte l'IBI comme des critères biologiques numériques (des grandeurs quantifiables caractérisant une biocénose) qui sont comparés à des valeurs attendues définies au préalable (état souhaité). L'IBI prend notamment en considération la diversité et la composition spécifique, la qualité de la nourriture disponible ainsi que la fréquence et l'état de santé des poissons.
- On attribue au cours d'eau ou aux tronçons étudiés un certain nombre de points en fonction de l'écart constaté entre les valeurs mesurées et les caractéristiques du système souhaité. Ces points sont cumulés pour donner l'indice, dont la valeur peut se situer dans différentes classes allant de très bon à mauvais, et qui correspond à l'évaluation finale.

D'autre part, l'indice poissons rivière (IPR), équivalent de l'IBI, a récemment été normalisé en France (AFNOR, 2004). Cet indice permet également de déterminer la qualité biologique générale des cours d'eau à partir de la connaissance de la structure des peuplements de poisson. L'IPR est calculé à partir d'un échantillonnage du peuplement de poissons effectué sur une station. Cet indice multiparamétrique prend en compte l'état de sept caractéristiques de la structure des peuplements de poissons sensibles aux dégradations que subissent les cours d'eau :

1. Nombre total d'espèces
2. Nombre d'espèces rhéophiles¹
3. Nombre d'espèces lithophiles²
4. Densité d'individus tolérants³
5. Densité d'individus invertivores⁴
6. Densité d'individus omnivores¹

¹ Espèces de poissons affectionnant les eaux vives

² Espèces de poissons déposant leurs œufs sur des substrats de type gravier ou sable

³ Espèces de poissons présentant une flexibilité importante aux variations de la physico-chimie et de l'habitat

⁴ Espèces se nourrissant principalement d'invertébrés

7. Densité totale d'individus

Tout comme les indices basés sur les macroinvertébrés, ces deux indices basés sur les peuplements de poissons ne sont pas applicables directement à la situation particulière de la Nouvelle-Calédonie où les rivières ne présentent souvent qu'un nombre limité d'espèces piscicoles.

III.3. PERTURBATIONS ANTHROPIQUES ET INDICES DE QUALITE DES MILIEUX

D'après l'étude d'impact environnemental du projet d'extraction minière de Goro Nickel (SNC-Lavalin, 1997), les principaux impacts attendus sur les milieux aquatiques et principalement sur la rivière Kwé sont une augmentation de la turbidité, une augmentation du pH, une augmentation de la température, une augmentation des teneurs en Cuivre et en Zinc, une augmentation des sels dissous et une modification des débits. Ces perturbations induisent des modifications au sein des peuplements aquatiques et doivent impérativement être prises en compte dans la mise en application d'un indice biotique quel qu'il soit.

III.3.1 Les perturbations de types toxiques

Les perturbations de type toxique se traduisent la plupart du temps par des effets à la fois qualitatifs (disparition de groupes faunistiques) et quantitatifs (diminution du nombre d'individus de l'ensemble des taxons). Contrairement à la perturbation organique, la perturbation toxique n'entraîne généralement pas l'augmentation de l'effectif des taxons résistants. L'effet polluant peut amener la disparition plus ou moins rapide et plus ou moins complète de l'édifice biologique (Agences de l'eau, 2000).

Invertébrés aquatiques polluo-sensibles

Par exemple, les insectes répondent de manière souvent inattendue aux métaux (Lascombe, 1987 dans Agences de l'eau, 2000) : les éphéméroptères sont souvent présentés comme très sensibles. Les Leptophlebiidae, Ephemeridae, Heptageniidae, Ephemerellidae disparaissent souvent en aval des rejets métalliques. D'autres groupes globalement assez résistants à la pollution organique régressent dans les zones de pollution métallique, comme la plupart des mollusques, des achètes, des planaires (voir tableau 6) (Agences de l'eau, 2000).

¹ Espèces se nourrissant d'une proportion substantielle de plantes et de matériel animal

Tableau 6 : Eléments bibliographiques sur la polluo-sensibilité des organismes invertébrés aux métaux (Synthèse Agence de l'Eau RMC, Avril 1987)

PLECOPTERES*	Avis partagé des auteurs
EPHEMEROPTERES	Paraissent globalement très sensibles aux métaux (Zinc, Cadmium, Plomb) Les familles les plus polluo-sensibles : Leptophlebiidae, Ephemeridae, Heptageniidae, Ephemerellidae Caenidae sensibles aux métaux Baetidae tolérants
TRICHOPTERES	Trichoptères libres paraissent globalement plus résistants que les Trichoptères à fourreau. Sericostomatidae et Leptoceridae sont ponctuellement considérés comme résistants
COLEOPTERES	Hydraenidae sensibles au Zinc
DIPTERES	Chironomidae sont résistants. Tipulidae, Rhagionidae sensibles. Simulidae résistants (Zinc + Plomb)
MEGALOPTERES*	Résistants au Zinc et Fer
ODONATES	Tolérants au Zinc et Fer
CRUSTACES	Sensibles
MOLLUSQUES	Une forte sensibilité au Zinc, Plomb et Cadmium
ACHETES	Les Hirudidae sont sensibles au Zinc, Fer. Le genre <i>Erpobdella</i> est résistant au Plomb, Cuivre, Zinc.
TRICLADES	Sensibles aux métaux Dugesia résistante au Cadmium.
OLIGOCHETES	Grande tolérance, en particulier le genre Tubifex, au Plomb, Zinc, Cadmium, Cuivre.

* taxons absents de Nouvelle-Calédonie

Les Agences de l'Eau recommandent, pour mieux évaluer le niveau de pollution métallique, d'utiliser en complément des méthodes intégratrices telles que l'analyse chimique des sédiments (elle permet de connaître l'état de contamination d'un habitat important pour les invertébrés), l'analyse chimique des bryophytes, ainsi que l'étude de certains groupes faunistiques qui sont à la base d'indices spécifiques, les oligochètes (Lafont, 1989), et les mollusques (Mouthon, 1981) par exemple.

III.3.2 Perturbations thermiques

D'après Verneaux (1977) le facteur thermique intervient sensiblement pour la moitié dans le déterminisme général de la structure biotypologique de l'écosystème d'eau courante. L'exploitation statistique de données disponibles a permis d'établir qu'une augmentation de 1,8°C de la température maximale moyenne des 30 jours les plus chauds de l'année correspond à un changement de niveau typologique (Verrel, 1983). Ainsi, une augmentation de la température des eaux de quelques degrés seulement doit entraîner une évolution de la biocénose, qui doit être traduite par l'Indice biotique utilisé.

Pour mieux évaluer le niveau de pollution thermique, les Agences de l'eau (2000) recommandent d'utiliser des méthodes basées sur l'évolution des populations piscicoles.

III.3.3 pH

Les effets des pH fortement basiques sur les communautés aquatiques sont peu connus.

III.3.4 Les matières en suspension

Les matières en suspension inertes (MES), qu'elles soient d'origine naturelle (bassin versant) ou humaine (rejet de gravières, vidange de barrage, activité agricole...) modifient les habitats, surtout en faciès lentique, par colmatage des fonds. Par ailleurs, les MES agissent également directement sur certains organismes sensibles.

Ces perturbations contribuent à des effets du même ordre que certains aménagements du milieu, en simplifiant la mosaïque d'habitats. Ces perturbations se traduisent par des effets à la fois quantitatifs (diminution du nombre d'individus de l'ensemble des taxons) et qualitatifs (disparition de groupes faunistiques). Toutefois les taxons les plus polluo-sensibles ne sont pas forcément ceux qui répondent le mieux à ce type de perturbation. Tout dépend du type d'habitat concerné. Par exemple, dans une rivière à forte pente soumise à la vidange d'une retenue, ce sont surtout les faciès lotiques pouvant, dans certains cas, conserver leur faune rhéophile (Agences de l'eau, 2000).

III.3.5 Modification du régime hydrologique

Les invertébrés benthiques répondent assez mal dans leur ensemble aux modifications spatiales du milieu (hauteur d'eau) pour lesquelles les poissons sont de meilleurs descripteurs. Par contre, les variations de la vitesse d'écoulement influencent les communautés, ce facteur jouant un rôle fondamental dans la répartition des organismes (Agences de l'eau, 2000).

III.4. L'INDICE BIOTIQUE DE NOUVELLE-CALEDONIE (IBNC)

Un premier indice biotique des macroinvertébrés benthiques a été élaboré en 1999 (Mary, 1999) fondé sur la méthode des scores : l'Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie (IBNC).

III.4.1 Principe

Cet indice, basé sur l'IBGN, le MCI et le SIGNAL, permet de détecter des pollutions organiques en milieu courant. Il se réfère à 62 taxons fréquents et d'identification simple auxquels il a été attribué un score en fonction de leur sensibilité aux matières organiques.

III.4.2 Limites

Cet indice met en évidence les pollutions organiques mais n'est pas applicable face à d'autres menaces telles que les pollutions minières (Iltis, 1990), la destruction de la ripisylve, la perte de 70% de couvert végétal (T. Jaffré, 2004) entraînant des phénomènes d'érosion dans les bassins versants (Iltis, 1987) ou encore l'introduction des espèces (Gargominy et al 1996).

Il semble par ailleurs difficilement applicable dans le cas précis de l'extrême sud. En effet, les espèces répertoriées dans la zone d'étude sont souvent circonscrites au sud et de ce fait sont absentes du processus de détermination de l'I.B.N.C.. A contrario, la plupart des espèces vivant généralement sur le reste de la Grande Terre sont moins représentées dans les cours d'eau étudiés ici. Enfin, la sensibilité des différents taxons répertoriés à une pollution exclusivement minière n'est pas connue jusqu'à maintenant. Un effort de recherche sur ce point bien précis semble être un préalable incontournable à l'établissement d'un indice biotique intégrant ce type de pollution.

III.5. PROPOSITION D'UN INDICE D'INTEGRITE BIOTIQUE (IIB) POUR LA NOUVELLE-CALEDONIE

Vingt ans de recherches et d'études des cours d'eau calédoniens ont permis l'élaboration d'un nouvel outil propre au Territoire, l'indice d'intégrité biotique (IIB) (Pöllabauer et Bargier, 2005). L'IIB est basé sur la biodiversité ichtyologique et présente l'avantage de livrer une mesure intégrative, non seulement au moment de l'étude mais il indique également les facteurs défavorables qui vont se maintenir sur une longue période de temps (Bastien & Schreiber, 1999).

III.5.1 Objectifs

- Elaborer une méthode standardisée pour une appréciation à l'échelle régionale des cours d'eau de faible profondeur de la Nouvelle-Calédonie sur la base des ichtyocénoses.
- Proposer un mode d'acquisition de données constante et respectueux de l'environnement.
- Disposer d'une méthode pratique, compréhensible et reproductible qui permet d'apprécier la qualité d'un cours d'eau et mettre en évidence les déficits les plus grossiers au niveau de la faune piscicole.
- Evaluer les points critiques sur lesquels il est nécessaire d'intervenir pour assurer une protection durable des eaux et de leur faune associée.

III.5.2 Matériel et Méthodes

III.5.2.1 Schéma d'acquisition des données

Les campagnes de pêche pour l'évaluation de la qualité des cours d'eau doivent se dérouler selon le protocole suivant :

1. Détermination des secteurs d'étude

- Déterminer le nombre de tronçons de 100 m (selon le standard européen NF EN 14011) avec une adaptation particulière selon la densité des communautés piscicoles, la variance entre les différentes stations et la longueur d'un cours d'eau
- Zone géomorphologique
- Ecomorphologie (pente, berges, granulométrie du lit de rivière, ripisylve, dégradation et de pollution, etc.)
- Obstacles naturels et artificiels à la migration
- Modification du régime d'écoulement

2. Sélection sur place des tronçons d'étude

- Secteurs (cours inférieur, moyen et supérieur)
- Habitats (définition des méso-habitats)

3. Pêche électrique

4. Exploitation des données

- Liste des espèces de poissons
- Fréquence des différentes espèces
- Distribution de la fréquence des tailles des espèces caractéristiques
- Détermination de la part des espèces d'un intérêt halieutique (Kuhliidae, Anguillidae, Eleotridae, Mugilidae, Megalopidae)
- Détermination de la part des espèces endémiques et/ou menacées
- Détermination de la part des espèces introduites
- Détermination des classes trophiques des espèces présentes

5. Evaluation

6. Classification

III.5.2.2 Phase terrain

Divers auteurs ont établi un classement des cours d'eau en Nouvelle-Calédonie (Starmühlner, 1968, Weninger, 1968, Marquet et al, 2003). Nous retenons – selon la composition typique des communautés piscicoles - 3 zones :

- 1- les cours d'eau avec une allure de torrent de montagne (majoritairement sur la côte Est),
- 2- les cours d'eau large avec un cours inférieur plus ou moins long et une pente moins importante (majoritairement sur la côte Ouest),
- 3- les cours d'eau de la région à péridotite et à serpentine (en majorité dans le grand Sud du territoire).

L'appartenance d'un cours d'eau à une de ces 3 zones détermine son ichtyocénose et joue un rôle primordial pour la biodiversité associée.

Deux campagnes d'échantillonnage par an sont nécessaires pour plusieurs raisons : image d'une biocénose incomplète durant une seule campagne, dus aux problèmes de migrations, de facteurs environnementaux défavorables, de reproduction en continue).

Lors de la phase terrain, les données mésologiques et les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (O₂, pH, conductivité, turbidité, vitesse de courant, température) doivent être relevées. Les poissons sont prélevés par pêche électrique, la méthode la plus adaptée pour les cours d'eau de faible profondeur. Les poissons ne sont aucunement blessés, peuvent être identifiés, pesés et mesurés sur le terrain, puis relâchés sur place. La qualité

des données qu'elle permet de recueillir et son bon rapport qualité / prix en font des instruments les plus utilisés dans la recherche et la gestion des eaux.

III.5.3 Résultats

Dans la procédure d'évaluation (figure 1), la différence entre l'état constaté et l'état souhaité (idéal) est notée selon un système de points (on attribue d'autant plus de points que l'état est bon), en distinguant 3 classes de valeur correspondant à excellent, moyen et bon. Chaque paramètre présente plusieurs catégories de notation (tableau 7) et représente ainsi un outil sensible de l'intégrité d'un écosystème. La somme des valeurs attribuées aux différents paramètres donne une valeur totale qui correspond à un certain état écologique dans le système de classification présenté ci-dessous.

III.5.3.1 Le processus d'évaluation de la qualité d'un cours d'eau

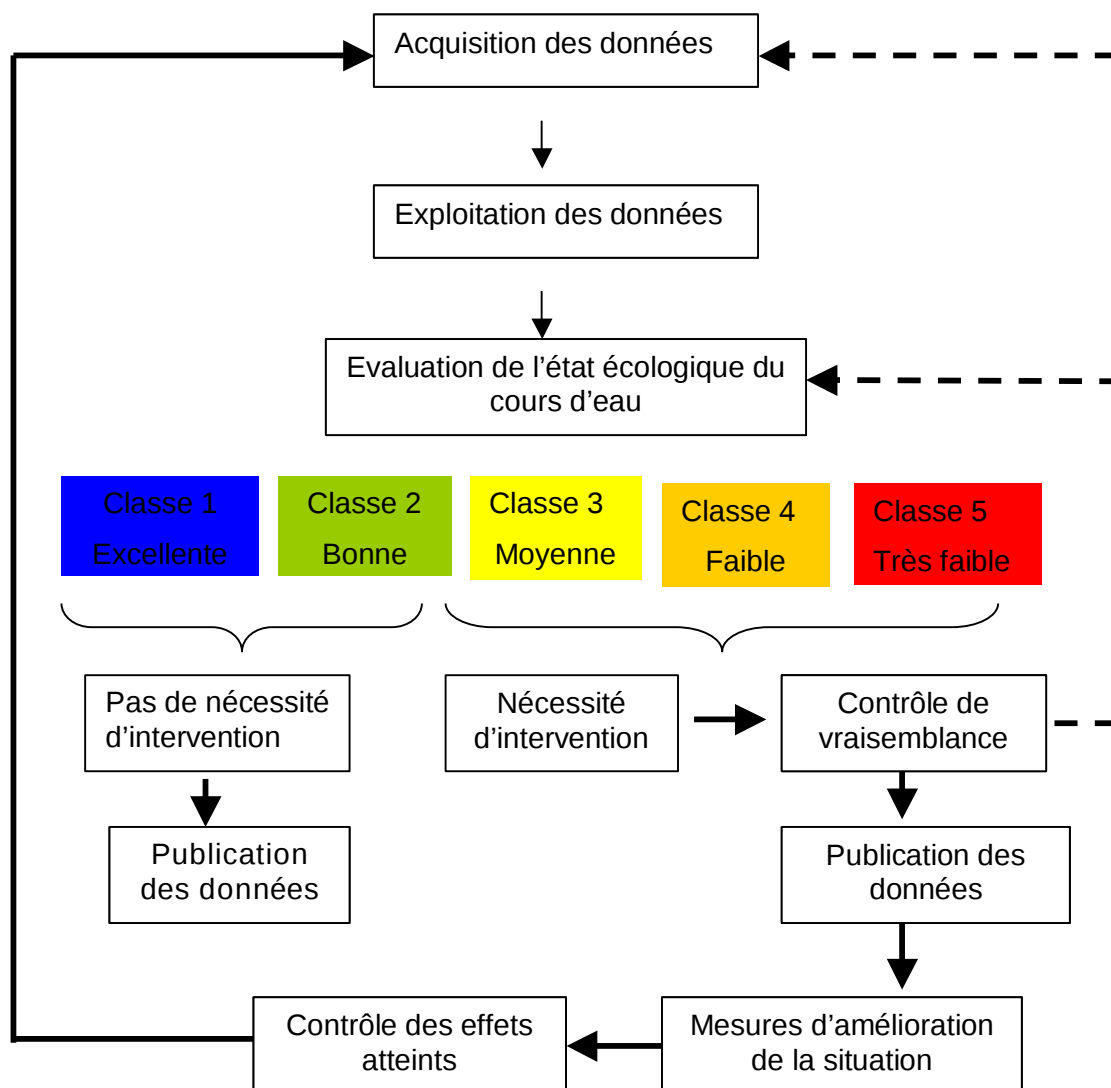


Figure 6 : Déroulement de la méthode d'appréciation de l'état écologique des cours d'eau par IIB, l'indice d'intégrité biotique (d'après Schager et Peter, 2002)

III.5.3.2 Paramètres identifiant l'IIB

Cinq paramètres et vingt catégories de facteurs ont été utilisés pour obtenir un outil sensible à toute influence anthropique ou dégradation (tableau 7). Chaque modification de la qualité d'un habitat ou d'un cours d'eau se reflète rapidement et à long terme (pas uniquement au moment du prélèvement).

Tableau 7: Paramètres pour la détermination de l'indice d'intégrité biotique calédonien

	Notation		
Paramètre 1 : Richesse spécifique (nombre d'espèces de poissons / cours d'eau)	Excellent	Moyen	Faible
	5	3	1
- Nombre d'espèces indigènes	> 23	12-23	< 12
- Nombre d'espèces endémiques et/ou intolérantes	>3	1-3	1
- Nombre d'espèces d'un intérêt halieutique	>5	3-5	<3
- Nombre d'espèces endémiques menacées ou très rares (<i>Nesogalaxias</i> , <i>Protogobius</i> , <i>Ryhacichthys</i>)	3	2	1
- Nombre d'espèces tolérantes	<10%	10-20%	>20%
- Nombre d'espèces introduites	0	1-2	>2
Paramètre 2 : Distribution des fréquences des espèces caractéristiques les unes par rapport aux autres (nombre de spécimen par espèce)			
- Distribution des fréquences des espèces caractéristiques indigènes	>10	5-10	<5
- Distribution des fréquences d'espèces endémiques et/ou intolérantes	>3	2-3	<2
- Distribution des fréquences d'espèces caractéristiques d'un intérêt halieutique	>5	3-5	<3
- Distribution des fréquences d'espèces endémiques menacées ou très rares (<i>Nesogalaxias</i> , <i>Protogobius</i> , <i>Rhyacichthys</i>)	3	2	1
- Distribution des fréquences d'espèces de poissons tolérants	<5	5-10	>10
- Distribution des fréquences d'espèces introduites	0	1-10	>10
Paramètre 3 : Organisation trophique (Nombre de poissons/ catégorie trophique/ cours d'eau)			
- Abondance relative d'omnivores (<i>Kuhlia</i> , <i>Tilapia</i> , <i>Awaous</i> , <i>Poecilia</i>)	<25%	25-70%	>70%
- Abondance relative de carnivores (insectes, crevettes, mollusques, poissons, etc.)	>60%	30-60	<30
- Abondance relative de benthophages (vase, algues, épiphytes, etc.)	>20%	12-20%	<12%
Paramètre 4 : Structure de la population (pyramide des âges)			
- Nombre d'espèces présentant les caractéristiques d'une population naturelle (toutes les classes d'âge bien représentées)	>3	2-3	<1
- Nombre d'espèces ne présentant que partiellement les caractéristiques d'une population naturelle	>1	2-3	<3
- Population non naturelle (prédominance d'une classe d'âge, les autres n'étant pas représentées)	<5	5-10	>10
Paramètre 5 : Abondance de crustacés (en terme de % de la biomasse)			
- <i>Macrobrachium</i> (en % de la biomasse)	>15%	15-30%	<30%
			Note finale
(1) Les crevettes du genre <i>Macrobrachium</i> peuvent représenter en moyenne 15% de la biomasse contre 85% pour les poissons; quand le milieu devient défavorables pour les poissons, la biomasse des crustacés augmente d'une manière conséquente.			

III.5.3.3 Classification

Le système de classification se conforme à la Directive européenne sur l'eau adoptée en 2000 qui prévoit 5 classes de qualité pour l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau (Schager et Peter, 2002).

Tableau 8 : Classification des cours d'eau selon la Directive européenne adoptée en 2000

Classe d'intégrité biotique	Etat écologique
Excellente	81-100
Bonne	61-80
Moyenne	41-60
Faible	21-40
Très faible	0-21

III.5.4 Conclusions

Etant donné la complexité et la spécificité de leurs exigences par rapport à l'habitat, les poissons sont de bons indicateurs de l'état hydrologique et morphologique des eaux dans lesquelles ils évoluent. L'indice d'intégrité biotique (IIB) est un outil sensible basé sur les relevés multifactoriels de ces communautés ichthyologiques. Il permet de qualifier l'état des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie et reflète d'une manière fiable chaque dégradation de milieu. Il permet ainsi de dégager à l'échelle régionale et à long terme les points critiques sur lesquels il est nécessaire d'intervenir et les mesures d'amélioration pour assurer une protection durable de la biodiversité unique des cours d'eau de Nouvelle-Calédonie.

IV. CONCLUSIONS

Un protocole standard de prélèvement par type de milieu et de faune permet d'apprécier l'évolution de la qualité des écosystèmes aquatiques d'une manière fiable.

Concernant les inventaires de poissons, nous conseillons la démarche suivante :

- la pêche électriques
- dans les eaux de faible profondeur (inférieur à 1,20m) et le filet expérimental pour les plus grandes profondeurs.
- Une station est définie comme un tronçon d'une longueur de 100m ou bien 10 à 15 fois la longueur moyenne du cours d'eau.
- Un inventaire de base nécessite une station d'échantillonnage tous les kilomètres d'un cours d'eau, pour un inventaire de suivi, le nombre de stations se calculant en fonction des variations spatiales des inventaires de base et de la longueur du cours d'eau (norme AFNOR EN 14011).
- Les espèces pêchées sont pesées, mesurées et identifiées sur le terrain puis relâchées sur place pour éviter tout impact négatif.
- La description des stations est réalisée selon un protocole standard au moment des prélèvements, en même temps que la physico-chimie de l'eau.
- Les inventaires de suivi se dérouleront à deux périodes de l'année, au printemps et en automne austral (mi-avril à juin et septembre à novembre).
- Les résultats obtenus ainsi sont reproductibles et comparables et permettent la mise en place d'indices de qualité, notamment l'indice d'intégrité biotique de cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie. Cet indicateur d'état des milieux aquatiques a été mis en place récemment par notre bureau d'études. Cet outil multi-paramétrique permet d'apprécier la qualité des milieux aquatiques et l'intégrité du système selon les normes internationales.

Concernant les inventaires des crustacés nous conseillons une méthode spécialement adaptée :

- La pêche électrique à l'aide d'un appareil portable et d'un échantillonneur Hess (0,09m²) sont utilisés dans les eaux de faible profondeur (inférieur à 1,20m).

- Une station est définie comme un tronçon d'une longueur de 100m ou bien 10 à 15 fois la longueur moyenne du cours d'eau. 8 prélèvements sont nécessaires notamment pour inventorier les crustacés de la famille Atyidae.
- Les démarches suivantes sont les mêmes que celles pour l'inventaire des poissons.
- Une seule période de prélèvements semble suffisante pour un suivi annuel, puisque les crevettes ne sont pas des espèces migratrices (en évitant toutefois de réaliser l'inventaire pendant ou peu après des grosses intempéries).
- Les crustacés appartenant à la famille des Palaemonidae peuvent être identifiés, pesés et mesurés sur place, puis relâchés. Les Atyidae sont transportés dans des conteneurs isolés équipés de dispositif d'oxygénation au laboratoire, où l'identification se fait à l'aide des stéréo-microscopes. Il est préférable de réaliser la pesée du poids sec après dessiccation des échantillons dans une étuve.
- Les crustacés sont de bons bio-indicateurs, puisqu'ils sont présents dans tous les cours d'eau en densité suffisante, de plus, ils accumulent les métaux lourds (Rescan, 2001). Il manque néanmoins une base de données quant à la sensibilité des espèces face aux polluants.

Concernant les autres macro-invertébrés benthiques, nous conseillons la démarche suivante (en adaptation de l'indice biotique de la Nouvelle-Calédonie de N. Mary) :

- Trois types d'échantillonneur sont appliqués, le matériel de type Surber et haveneau (0,05m² ou 0,09m²), Hess (0,05m² ou 0,09m²) et filets de faune en dérive.
- La station est définie comme étant le tronçon de cours d'eau dont la longueur est sensiblement égale à 10 fois la largeur mouillée du lit au moment du prélèvement. Les différents types d'habitats conditionnent le nombre de stations et de prélèvements par station. Ces échantillonnages doivent donner des indications sur une situation bien précise dans le temps et dans l'espace. Appliquée à un site d'eau courante considéré isolément, la méthode permet d'en situer la qualité biologique globale dans une gamme générale ; appliquée comparativement (par exemple en amont et en aval d'un rejet), la méthode permet d'évaluer, dans les limites de sa sensibilité, l'effet d'une perturbation sur le milieu récepteur.
- Nous conseillons cependant de nous approcher des normes françaises (T90-350) en prenant 8 échantillons par station au lieu de 6, la biodiversité et la richesse unique des cours d'eau calédoniens justifient pleinement cette adaptation au

standard national. Les prélèvements de la macrofaune benthique sont effectués par station suivant un protocole d'échantillonnage tenant compte des différents types d'habitat, définis par la nature du support et la vitesse d'écoulement (IBGN). Selon le Guide technique de l'IBGN « Le nombre de stations est fonction des objectifs de l'étude. Rappelons que pour l'étude des effets d'une perturbation, il est souvent utile de retenir trois stations : une première en amont de la perturbation, une seconde à proximité de la source perturbante pour évaluer les effets maximums, une troisième plus éloignée pour estimer la récupération du milieu. »

- Idéalement, pour une étude de base, il faudrait pouvoir prélever les échantillons dans le cours inférieur, dans le cours moyen et dans le cours supérieur de chaque rivière afin de caractériser au mieux les communautés en fonction des habitats.
- La mise en évidence des perturbations est facilitée si l'échantillonnage est effectué en période défavorable, au moment des basses eaux (débit minimal, température maximale) soit en octobre et novembre ou en période critique (rejets, activités saisonnières). Cependant, en raison des décalages phénologiques¹ soupçonnés, deux recensements / an doivent être réalisés (Limagne, 2001) : soit les deux campagnes en période d'étiages à un mois d'intervalle, soit à deux différentes saisons de l'année (mi-avril à fin juin et septembre à novembre).
- Chaque habitat est caractérisé par un couple support-vitesse (S-V) figurant parmi les combinaisons proposées dans un tableau standard. Les prélèvements sont réalisés jusqu'à une profondeur d'un mètre.
- Les échantillons sont fixés dans un mélange 90/10% d'alcool à 70% et de formol pendant 24 heures, ensuite ils sont transférés dans une solution d'alcool à 70°.
- L'identification se fait au laboratoire jusqu'au niveau de genre de préférence. En effet, s'arrêter au niveau de la famille semble insuffisant dans le cas où il existe des genres ubiquistes et des genres endémiques de répartition restreinte au sein d'une même famille. Les représentants d'une telle famille n'affichent pas du tout la même polluo-sensibilité.
- L'IBNC nécessite un élargissement aux pollutions minérales, son utilisation actuelle permet uniquement de détecter les pollutions organiques et ne permet pas de juger de qualité de l'eau sur terrain minier.

¹ Variations des phénomènes périodiques de la vie végétale et animale en fonction du climat

Notons toutefois que le Système d'Evaluation de la Qualité des cours d'eau (Annexe III), en application en France, reposant sur trois compartiments relevés conjointement :

- SEQ-Bio : Détermination d'indicateurs d'intégrité biologique relatifs aux différents compartiments biologiques présents dans les eaux douces superficielles :
 - Ø Bactéries
 - Ø Végétation aquatique
 - Ø Invertébrés aquatiques
 - Ø Peuplements piscicoles
 - Ø Flore riveraine et terrestre
 - Ø Faune riveraine et terrestre
- SEQ-Eau : Détermination des paramètres de qualités physico-chimiques relatifs aux eaux douces superficielles afin d'être classées selon leur aptitude aux fonctions biologiques.
- SEQ-Physique : Détermination des caractéristiques hydrologiques et morphologiques

Le nombre de paramètre pris en compte au niveau national pour évaluer la qualité d'un cours d'eau s'avère donc beaucoup plus complexe qu'en Nouvelle-Calédonie. Les connaissances actuelles sont insuffisantes pour appliquer les mêmes critères sur le territoire. Il serait néanmoins judicieux de s'intéresser d'avantage à la ripisylve (végétation dans le lit majeur du cours d'eau) et d'améliorer les connaissances sur ce type de végétation qui a une influence cruciale sur les cours d'eau (rôle de filtre biologique, fixation des berges, protection contre l'érosion, cache et abris pour les espèces faunistiques aquatiques, etc.)

Soulignons également la mise en place des plusieurs normes nationales et européennes concernant les méthodes d'échantillonnage et l'évaluation de la qualité des cours d'eau :

Normes françaises :

- Indice biologique global normalisé IBGN : NF-T 90-350 (macroinvertébrés)
- Indice de poissons : AFNOR NF T90-344,

Normes européennes :

- Pêche électrique « Fish sampling with electricity NF EN 14011)
- Echantillonnage des poissons à l'aide des filets maillants projet pr EN 14757

Plusieurs facteurs d'incertitudes persistent néanmoins : Ces indices, notamment dans le domaine biologique, sont souvent très récents, parfois même en cours de finalisation, dans leur normalisation au niveau territorial, national ou international. La forte « particularité » du territoire oblige à l'adaptation de ces derniers au contexte local ainsi qu'une validation comme « standard calédonien ».

V. BIBLIOGRAPHIE

- Agences de l'eau, 2000. Indice Biologique Global Normalisé I.B.G.N. – Guide technique. Etudes des Agences de l'eau n°00. 36p.
- André B. et Lascombe C., 1985 – Comparaison de deux traceurs de la pollution métallique des cours d'eau : les Bryophytes, les sédiments. Rapports Agence RMC, septembre 1985
- Barbe J., Lavergne E., Rofes G., Lascombe, Rivas, Bornard, De Benedi-MS, 1990. Diagnose rapide des plans d'eau. Informations techniques du Cemagref, septembre 1990, n°79, 8p.
- Bastian O. & Schreiber K.-F., 1999. Analyse und Ökologische Bewertung der Landschaft. Spektrum, Akademischer Verlag, Heildberg, 564 Seiten.
- Besse & Torre, 2000 : Note technique SDAGE N°5, Agir pour les zones humides en RMC, Politiques d'Inventaires <http://rdb.eaurmc.fr/sdage/documents/note-tech-5.pdf>
- Blandin, 1986: Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques, Bull. ecol. 17, pp 215-307.
- BRGM (chargé d'étude) 1994 – Métaux lourds et mousses aquatiques. Standardisation des aspects analytiques. 2ème phase : calibration multilaboratoires. Etude Inter-Agences N°34. 88 p.
- Burton W. & Flannagan J.-F., 1973. An improved Ekman-type grab. Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada 30 : 287-290.
- Camargo J. A., 1993. Macroinvertebrate surveys as a valuable tool for assessing freshwater quality in the Iberian Peninsula. Environ. Monit. Assess. 24, 71-90.
- Cemagref, 1982. Etude des methods biologiques d'appréciation quantitatives de la qualité des eaux. Rapport Groupement de Lyon - Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse. 218 p.
- Chandler J., 1970. A biological approach to water quality management. Wat. Pollut. Cont. 69, 415-421.
- Chessman B. C., 1995. Rapid assessment of rivers using macroinvertebrates : a procedure based on habitat-specific sampling, family level identification and a biotic index. Aust. J. Ecol. 20, 122-129.
- Chesters R. K., 1980. Biological Monitoring Working Party. The 1978 National Testing Exercise. Departement of the Environment, Water Data Unit, Technical Memorandum 19, 1-37.
- Chutter F., 1972. An empirical index of the quality of water in south African streams and rivers. Wat. Res. 16, 263-301.
- Descy J.-P. et Coste M., 1989. Application d'un indice diatomique d'évaluation de la qualité des eaux courantes à des points du réseau national de bassin sur le Rhône et ses affluents. Rapport Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse. 86 p.
- Environnement Canada, 1993. Guide technique pour l'étude du suivi des effets sur l'environnement aquatique visés par la loi fédérale sur les pêches. Version 1.0. Avril 1993.
- Gargominy, O., P. Bouchet, M. Pascal, T. Jaffré & C. Tourneur, 1996. Conséquences des introductions d'espèces animales et végétales sur la biodiversité en Nouvelle-Calédonie. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, vol. 51. pp. 375-402.

- Gouvernement du Québec, 2002. Glossaire des indicateurs d'état.
www.menv.gouv.qc.ca/eau/sys-image/glossaire2.htm
- Gouvernement français : Guide sur la prise en compte des milieux naturels dans les études d'impact : http://www.midi-pyrenees.ecologie.gouv.fr/milieux_naturels/guide.htm
- Ittis, J., 1987. Les travaux de protection contre l'érosion en Nouvelle-Calédonie : luxe ou nécessité ? Actes des journées de géographie tropicale "Les aménagements liés à l'eau". *Comité National Français de Géographie*, Paris. 24 p.
- Ittis, J., 1990. La mine, élément de la controverse écologique dans le Pacifique Sud. *Espace géographique*, Paris. 18 p.
- Karr J. R., 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6 (6): 21-27.
- Khalanski, M. & Souchon, Y. (1994). Quelles variables biologiques pour quels objectifs de gestion ? In *Etat de santé des écosystèmes aquatiques : les variables biologiques comme indicateurs*, Paris, 2 & 3 novembre ; eds N. Chartier-Touzé, Y. Galvin, C. Levêque, and Y. Souchon; 67-109.
- Lafont M., 1989. Contribution à la gestion des eaux continentales: utilisation des oligochètes comme descripteurs de l'état biologique et du degré de pollution des eaux et des sédiments. Thèse de Doctorat d'Etat, UCBL Lyon I : 311p + annexes 92p.
- Lafont M., 1991. Un indice biologique lacustre basé sur l'examen des Oligochètes. *Revue des Sciences de l'Eau*, 4, pp. 253-268.
- Lafont M., 1992. Méthodes d'évaluation de la qualité des milieux aquatiques. Cemagref. Commission spécialisée Ressources en eau, 17 avril 1992. 55 p.
- La Violette Nathalie, 2003 : Caractérisation des Communautés de Poissons et Développement d'un Indice d'intégrité Biotique pour le Fleuve Saint-Laurent, 1995-1997 , Société de la faune et des Parcs du Québec, St. Lawrence Vision 2000 (Canada)
- Malavoi J.R., 1989. Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. *Bulletin français de la Pêche et de la Pisciculture*, 315, 189-210.
- Marquet G., Keith P. et Vigneux E., 2003. Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce de Nouvelle Calédonie. *Patrimoines Naturels*, 58 : 282p.
- Mary N., 1999. Caractérisations physico-chimique et biologique des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie - Proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés benthiques. Thèse Dr.Univ . française du Pacifique. 181p.
- Mouthon J., 1992. Un indice lacustre basé sur l'examen des peuplements de mollusques. Communication au colloque Limnologie appliquée et applications de la limnologie. Besançon, 16-19 novembre 1992.
- Mouthon J., 1981. Typologie des mollusques des eaux courantes – Organisation biotypologique et groupements socio-écologiques. *Annales Limnol*, 17(2): 143-162.
- Mouvet C., Cordebar P. et Galissot B., 1986 – Evaluation de rejets de micropolluants minéraux (métaux lourds) et organiques (organochlorés) par dosages dans les mousses aquatiques. XIXèmes journées de l'hydraulique SHF. Question 111, rapport n° 5, 8 p.
- Mouvet C., Morhain E., Sutter C. and Couturieux N., 1993 – Aquatic mosses for the detection and follow-up of accidental discharges in surface waters. *Water, Air and soil Pollution* 66, pp. 333-348.

- Poellabauer Ch. et Bargier N., 2005: Indice d'intégrité biotique : Proposition d'un outil d'évaluation de la qualité des rivières et des changements relatifs aux impacts divers (mines, agriculture, urbanisation, espèces introduites). Poster, Conférence internationale »Biodiversité, Sciences et Gouvernance)
- Porcher J.-P., 1998. Cahier des charges techniques. Réseau hydrobiologique et piscicole (R.H.P.). 27p.
- Prygiel J., et Coste M., 1992. Utilisation des diatomées et des indices diatomiques pour la mesure de la qualité biologique des cours d'eau du bassin Artois-Picardie. Communication au colloque Limnologie appliquée et applications de la limnologie. Besançon, 16-19 novembre 1992.
- Risso A., Lafont M. et Exinger A., 1992. Peuplements d'oligochètes de quelques cours d'eau du haut-Rhin : essai de description de l'incidence des métaux lourds du sédiment. Communication au colloque Limnologie appliquée et applications de la limnologie. Besançon, 16-19 novembre 1992.
- Robertson David J. et Piwowar Kathryn, 1985 : Comparison of four samplers for evaluating Macroinvertebrates of Sandy Gulf Coast Plain stream. J. of Freshwater Ecology, Vol. 3, N°2.
- Rosenberg D.M., Davies I.J., Cobb D.G. et Wiens A.P., 2001. Protocoles de mesure de la biodiversité. Les macroinvertébrés benthiques dulcicoles. Ministère des Pêches et des Océans, Institut des eaux douces.34p.
- Schager E. & Peter A., 2002. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. *Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG)*.
- Sladeczek M. W., 1973. System of water quality from the biological point of view. Arch. Hydrobiol. 7, PP. 1-218.
- SNC-Lavalin, 1997. Goro Nickel Project Bankable Feasibility Study Report, Volume 7.
- Stark J. D., 1985. A macroinvertebrate community index of water quality for stony streams. Water and Soil Miscellaneous Publication 87, 53 p.
- Starmühlner, F., 1968. Etudes hydrobiologiques en Nouvelle-Calédonie (Mission 1965 du Premier Institut de Zoologie de l'Université de Vienne). Généralités et descriptions des stations. *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrobiol.* II (1) : pp. 3-33.
- Taylor B. W., McIntosh A. R. and Peckarsky B. L., 2001. Sampling stream invertebrates using electroshocking techniques: implications for basic and applied research. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 437-445.
- Verneaux J., 1977. Biotypologie de l'écosystème eau courante. Déterminisme approché de la structure biotypologique. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 284, Série D : 77-79.
- Verneaux J., 1984. Méthodes et problèmes de détermination des qualités des eaux courantes. *Bull. Ecol. T.* 15, 1, p. 1-6.
- Verneaux J. et coll., 1982. Une nouvelle méthode pratique d'évaluation de la qualité des eaux courantes – Un indice biologique de qualité générale (I.B.G.) – *Ann. Sci. Fr. Comté, Besançon, Biol. Anim.*, 4(3), 11-21
- Verneaux J., Faessel B. et Malesieu, 1976. Note préliminaire à la proposition de nouvelles méthodes de détermination de la qualité des eaux courantes – *Trav. Lab. Hydrobiol. Univ. Besançon et C.T.G.R.E.F.*, ronéo 14p.

- Verneaux J. et Tuffery G., 1967. Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes – Indices biotiques – Ann. Sci. Univ. Besançon, 3, 79-89.
- Verrel, 1983. Impact hydrobiologique des centrals thermoélectriques en cours d'implantation sur le Rhône – Cah. Lab. Montereau, 14 :45-54.
- Woodiwiss, 1964. The biological system of stream classification used by the Trend River Board – Chem. And Indust., 443-447.
- Weninger G., 1968. Etudes hydrobiologique en Nouvelle-Calédonie (mission 1965 du premier institut de zoologie de l'Université de Vienne) : Beiträge zum chemismus der gewasser von Neukaledonien (SW-Pacific). *Cah. ORSTOM, Sér. Hydrobiol.* 11(1) 35-55

ANNEXE I

EXEMPLE DE FICHE DESCRIPTIVE D'UNE STATION D'ECHANTILLONNAGE



N°station N°trouçon Code Pêche

Date de pêche Ref Etude

Moyen de pêche Nombre d'appareils Nombre d'opérateurs

Nom des opérateurs

Heure début Pause Heure fin Relevé compteur

Analyses Physico-chimiques

T surface (°C)
T profondeur >1m (°C)
ph
Turbidité (NTU)
O2 dissous (mg/l)
O2 dissous (%)
Conductivité (uS/cm)

Caractéristiques mésologiques

Météo
Hydrologie
Pollution
Exposition
Encombrement lit
Nature Vég aquatique
Recouvrement

Granulométrie (%)

Rochers ou dalle (>1m)
Blocs (>20cm)
Galets (>2cm)
Graviers (>2mm)
Sables (>0,02mm)
Limons/vases
Débris végétaux
Largeur au départ
à 25 m
à 50 m
à 75 m
à 100 m
Distance max (plan d'eau)

Section Mouillée

Lit Mineur

Faciès d'écoulement (%)

Chenal lentique
Fosse de dissipation
Mouille de concavité
Mouille d'affouillement
Chenal lotique
Plat lentique
Plat courant
Escalier
Radier
Rapide
Cascade
Chute
Influence barrage

Profondeur Moyenne Maximale

Prof. départ
Prof. à 25 m
Prof. à 50 m
Prof. à 75 m
Prof. à 100 m
Prof. (plan d'eau)

Vitesse Moyenne Maximale

Vitesse départ
Vitesse à 25 m
Vitesse à 50 m
Vitesse à 75 m
Vitesse à 100 m

Photo

Accès

Caractéristiques des berges

Rive gauche

Rive droite

Pente berges (°)
Nature berges
Nature ripisylve
Structure ripisylve
Déversement végétal

Ref Biblio

ANNEXE II

RAPPEL DES PRINCIPALES TECHNIQUES D'INVENTAIRES DES PEUPLEMENTS PISCICOLES

ANNEXE II

RAPPEL DES PRINCIPALES TECHNIQUES D'INVENTAIRES DES PEUPELEMENTS PISCICOLES

Source : « Etat initial et prévision d'impact dans les documents d'incidences » -
Collection Mise au point

A – Techniques débouchant sur des données de biomasse et d'effectifs absolues

Cas des petits cours d'eau prospectables par pêche à pied :

La pêche électrique à pied par prospection complète :

Elle est la technique la plus utilisée. Elle est mise en œuvre pour les cours d'eau de faible profondeur (<0,80 à 1m) dans le lit desquels il est possible de progresser à pied (vitesse du courant inférieure à 0,80 m/s).

Précautions : en absence d'obstacle infranchissable à l'amont de la station, il peut s'avérer nécessaire de poser un filet barrage (maille 10 à 15 mm) empêchant la fuite du poisson. La pose d'un filet barrage aval peut également s'avérer nécessaire dans certaines configurations morphologiques.

La totalité de la surface de la station est alors pêchée, permettant l'estimation du peuplement le plus probable par la méthode de Carle et Strube, un minimum de deux pêches successives sans remise à l'eau des poissons devant alors être réalisé, (ce nombre est porté à 3 en cas de faible efficacité de pêche).

La méthode de Carle et Strube (Gerdeaux, 1987) permet de calculer les intervalles de confiance des effectifs et biomasses estimés par espèce pour la zone de la station prospectée.

Cas des grands cours d'eau peu profonds :

La pêche électrique à pied par prospection complète de ces cours d'eau bien que lourde à mettre en œuvre, reste possible pour des largeurs inférieures à 25m voire 30m, sous réserve de mettre en œuvre des moyens en personnel et en matériel adaptés.

Ce mode de prospection est à privilégier pour l'obtention de données absolues dès que leur reproductibilité est élevée (stabilité du lit mineur et des faciès d'écoulement).

Ces cours d'eau contiennent le plus souvent une forte proportion de faciès non prospectables à pied aussi les résultats obtenus ne sont extrapolables qu'à un linéaire limité du cours d'eau.

B – Techniques débouchant sur des données de biomasses et d'effectifs relatives

Cas des grands cours d'eau peu profonds

Pêche électrique par ambiance :

Elle est préconisée dès que les caractéristiques du cours d'eau ne permettent pas de conduire une pêche électrique par prospection complète à pied en raison d'une largeur importante du cours d'eau (25m) ou de la présence de zones difficilement prospectables (mouilles, profonds, vitesses du courant élevées) dans la station. La combinaison des moyens de prospection à pied et en bateau permet d'inventorier les ambiances prospectables par pêche électrique.

Cette technique permet d'échantillonner des faciès prospectables à pied (radiers, plats) ou en bateau (mouilles) pour chacun desquels sont mesurés la surface prospectée, la hauteur d'eau, la vitesse moyenne, la situation par rapport à la rive, le substrat et le temps de pêche.

Si cette technique d'inventaire ne nécessite qu'un seul passage, une attention particulière doit être portée lors de la réalisation de la pêche des secteurs pour ne pas faire fuir les poissons.

Les pêches par ambiance sont recommandées lorsque les secteurs d'études sont fréquemment déstabilisés par les crues qui remanient fortement le lit et modifient la succession des faciès. Elles permettent en prospectant un « profil d'ambiances » assez constant d'obtenir un échantillon stable.

Une cartographie de l'ensemble de la station et de la localisation des ambiances prospectées ainsi que la mesure de leurs paramètres caractéristiques doit être réalisées au fur et à mesure que les faciès sont pêchées.

Il conviendra d'indiquer les types de faciès qui n'ont pu être prospectés et leurs surfaces respectives dans la station.

Cette méthode permet d'obtenir des données relatives sur la composition des peuplements : abondance relative et biomasse relative par espèce pour chaque faciès.

Cas des grands cours d'eau profonds

Echantillonnage par pêche électrique :

Trois techniques d'échantillonnage par pêche électrique en bateau sont utilisées pour les grands milieux.

Soit par prospection en continu sur une longueur de rive qui fera l'objet d'une description précise (hauteur d'eau, classe de vitesse du courant, substrat, végétation, caches...). Cette méthode présente l'inconvénient de ne pas séparer les captures par type d'habitat et rend donc plus difficile les comparaisons avec d'autres stations.

Soit par échantillonnage ponctuel d'abondance (E.P.A.). Le principe de cette méthode, décrite par les chercheurs de l'Université de Lyon, est de privilégier le nombre d'échantillons plutôt que leur taille. L'échantillonnage est réalisé de la façon suivante. Pour chaque point, l'électrode est lancée de façon à surprendre le poisson. Le prélèvement ainsi obtenu apporte une information sur la composition et l'abondance de la faune piscicole dans l'aire d'attraction de l'électrode. L'emplacement des points est déterminée de façon aléatoire afin de restituer la proportion relative des principaux faciès de la station en éloignant suffisamment les points successifs (environ 25m). Un échantillonnage par E.P.A. est constitué de 20 à 30 échantillons ponctuels par station.

Quand le bateau s'approche de la rive, l'anode est lancée à une distance d'environ 10m sur le point d'échantillonnage. L'anode n'est déplacée que verticalement pour échantillonner toute la colonne d'eau. Ainsi, la surface prospectée est limitée au champ d'action de l'anode en son point d'impact (cylindre de 1,5 à 2 m de rayon, Nelva *et al.* , 1979).

L'échantillon est donc constitué par l'ensemble des captures réalisées avec une anode en position stationnaire sur le plan horizontal. Il est fréquent que l'effectif capturé soit nul pour certains points.

Ce type d'échantillonnage présente plusieurs avantages :

- la simplicité d'exécution, car les prélèvements sont rapides et la biométrie effectuée sur le bateau,
- l'efficacité statistique, car la multiplication des points de mesure permet de réduire les erreurs d'échantillonnage. De plus, lorsque la distribution spatiale du peuplement est hétérogène (regroupements passagers ou permanents de poissons) il est préférable, pour une même surface prospectée, de maximiser le nombre de prélèvements plutôt que d'augmenter la surface d'un nombre réduit de sites,
- la possibilité de procéder à une analyse plus poussée des résultats (répartition des espèces dans l'espace...) en associant une description des caractéristiques du milieu en chaque point.

Soit par prospection des berges en Echantillonnage Continu par Distance (ECD)

Le principe est de prospecter de la façon la plus exhaustive possible des zones d'habitat homogène.

L'échelle de prospection est l'ambiance. Elle correspond aux différents types d'habitats (herbiers, embâcles, enrochements...) qu'une espèce fréquente pour réaliser une activité. La prospection se fait le long des rives, pour des longueurs variant de 10 à 80 m, conditionnée par l'homogénéité des habitats prospectés et l'abondance de l'ichtyofaune. Les captures sont pondérées par la surface prospectée. Afin d'accroître la stabilité des échantillonnages, deux à trois répliquats sont réalisés par type d'habitat.

Il est recommandé pour la méthode ECD, une prospection complète de tous les habitats pendant un temps proportionnel à leur représentation sur la station.

Echantillonnage par pêche au filet :

Complémentaire aux méthodes précédentes, cette technique d'inventaire nécessite d'installer en fin de journée des batteries de filets maillants verticaux qui seront relevés le lendemain matin.

Mailles recommandées : 10, 15, 20, 30, 40, 50 et 60 mm.

Les filets utilisés peuvent être soit à maille unique, soit à maille multiples.

Selon la configuration de la station, ils pourront être positionnés à des profondeurs différentes. Chaque type d'habitat doit être prospecté deux fois. Une cartographie du positionnement des différents filets sera effectuée.

Les données obtenues sont des données relatives rapportées à une unité d'effort de pêche.

Combinaison de plusieurs méthodes

Afin d'accroître l'efficacité de l'échantillonnage, il est recommandé de combiner deux techniques de pêche, pêche électrique de bordure et pêche au filet ce qui permet d'augmenter la probabilité de capture de certaines espèces.

La pêche au filet plus sélective ne peut à elle seule donner un échantillon représentatif mais elle complète utilement un échantillonnage réalisé par pêche électrique.

Une cartographie précise de la zone d'étude sera systématiquement réalisée ; les secteurs inventoriés et les méthodes de pêche y seront indiqués.

Autres méthodes d'échantillonnage

- Chalut électrique pour les cours d'eau profonds
- Méthodes acoustiques pour l'estimation des biomasses de poissons dans les plans d'eau. Les résultats obtenus par des transects sont extrapolés au volume total de la retenue. Compte tenu des artéfacts propre à cette technique, son utilisation est réservée à des spécialistes.

ANNEXE III

SYSTÈME D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES COURS D'EAU (SEQ-EAU, SEQ-PHYSIQUE, SEQ-BIO)

LE NOUVEAU SYSTÈME D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DES RIVIÈRES : LE SEQ-EAU

François SIMONET, Agence de l'Eau Adour-Garonne

Officialisé par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement en 1999, le SEQ-Eau remplace depuis le 1^{er} janvier

2000 le système d'évaluation de la qualité de l'eau utilisé jusqu'à présent, la grille dite "Multi-usages", dérivée de la grille de qualité proposée par le Ministère de l'Environnement en 1971.

C'est d'un changement de thermomètre qu'il s'agit.

Le nouveau système est beaucoup plus précis et complet que l'ancien : il prend en compte de nouvelles formes de pollution, notamment les pesticides et les micropolluants organiques, et fait appel à de nouvelles techniques d'évaluation de la qualité de l'eau (par exemple utilisation des bryophytes aquatiques ou mousses végétales pour évaluer le degré de pollution de l'eau par les métaux).

C'est un système évolutif en mesure de s'adapter aux avancées scientifiques dans le domaine de l'eau

comme à la progression de la réglementation.

Enfin, parce qu'il est commun à l'ensemble des gestionnaires de l'eau, le SEQ-Eau permettra une évaluation objective et comparable de la qualité de l'eau des rivières françaises.

Des principes simples

Le SEQ-Eau permet d'évaluer la qualité de l'eau et son aptitude à assurer certaines fonctionnalités : maintien des équilibres biologiques, production d'eau potable, loisirs et sports aquatiques, aquaculture, abreuvement des animaux et irrigation (des développements futurs permettront d'intégrer d'autres usages). (figure 1)

Les évaluations, qui peuvent être conduites sur un prélèvement, plusieurs prélèvements ou plusieurs années, sont réalisées, à ce jour, au moyen de 156 paramètres de qualité de l'eau regroupés en 15 indicateurs appelés altérations (couleur, température, nitrates, micro-organismes, pesticides, etc. voir figure 2).

Ces altérations comprennent des paramètres (par exemple atrazine, simazine, lindane, diuron, au titre de l'altération pesticides) de même nature ou ayant des effets comparables sur le milieu aquatique ou les usages (au cas précité, toxicité pour les êtres vivants ou gêne de la production d'eau potable).

En identifiant les altérations qui compromettent les équilibres biologiques ou les usages, le SEQ-Eau autorise un diagnostic précis de la qualité de l'eau et contribue à définir les actions de corrections nécessaires pour son amélioration en fonction de ses utilisations souhaitées.

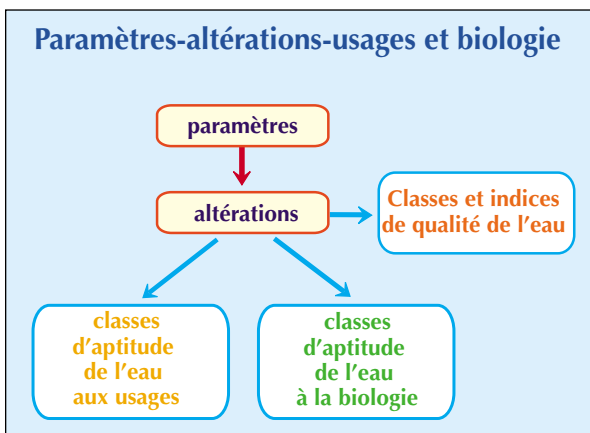


Figure 1.

Figure 2.

Paramètres	Altérations	Effets
O ² -satO ² -DCO-DBO5-COD-NKJ-NH ₄ ⁺	1. Matières organiques et oxydables	Consomment l'oxygène de l'eau
NKJ-NH ₄ ⁺ -NO ₂ ⁻	2. Matières azotées hors nitrates	Contribuent à la prolifération d'algues et peuvent être toxiques (NO ₂ -)
NO ₃ ⁻	3. Nitrates	Gênent la production d'eau potable
Ptotal-PO ₄ ³⁻	4. Matières phosphorées	Provoquent les proliférations d'algues
MES-Turbidité-Transparence SECCHI	5. Particules en suspension	Troublent l'eau et gênent la pénétration de la lumière
Couleur	6. Couleur	
Température	7. Température	Trop élevée, elle perturbe la vie des poissons
Conductivité-Ca ²⁺ -Na ⁺ -Mg ²⁺ -K ⁺ -SO ₄ ²⁻ -Cl-TAC-TH	8. Minéralisation	Modifie la salinité de l'eau
pH-AL dissous	9. Acidification	Perturbe la vie aquatique
Cha-phéopigments-Algues-pH-%satO ² -ΔO ²	10. Phytoplancton	Trouble l'eau et fait varier l'oxygène et l'acidité. Gêne la production d'eau potable
Coliformes fécaux, coliformes thermotolérants (E. Coli), Streptocoques fécaux (ou entérocoques)	11. Micro-organismes	Gênent la production d'eau potable et la baignade
Hg-Cd-Cr-Pb-Ni-Zn-Cu-As	12. Métaux (sur bryophytes)	Indicateurs d'une pollution de l'eau par les métaux
Hg-Cd-Cr-Pb-Ni-Zn-Cu-As-Se-Cn	13. Micropolluants minéraux	Sont toxiques pour les êtres vivants et les poissons en particulier. Gênent la production d'eau potable
Atrazine-Simazine-Lindane-Diuron (36 substances)	14. Pesticides	
HAP-PCB-Tétrachloroéthylène... (63 substances)	15. Micropolluants organiques	

Classes d'aptitudes de l'eau					
	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
BIOLOGIE	Tous taxons présents	Taxons sensibles absents	Taxons absents nombreux	Diversité faible	Diversité très faible
EAU POTABLE	Acceptable	Traitement simple	Traitement classique	Traitement complexe	Inapte
LOISIRS	Optimal		Acceptable		Inapte
IRRIGATION	Plantes très sensibles Tous sols	Plantes sensibles Tous sols	Plantes tolérantes Sols alc/neut	Plantes très tolérantes Sols alc/neut	Inapte
ABREUVAGE	Tous animaux		Animaux matures		Inapte

Figure 3.

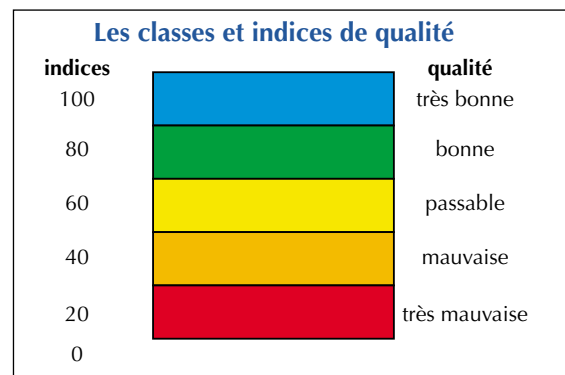


Figure 4.

L'aptitude de l'eau à la biologie et aux usages

Cette aptitude est évaluée, pour chaque altération, à l'aide de 5 classes d'aptitude au maximum, allant du bleu (aptitude très bonne) au rouge (inaptitude). Voir figure 3. La classe d'aptitude est déterminée au moyens de grilles de seuils établies pour chacun des paramètres de chaque altération et qui tiennent compte :

- de la réglementation française et européenne, notamment pour ce qui concerne la production d'eau potable et les loisirs et sports aquatiques
- des recommandations internationales (US EPA, OMS...)
- d'avis d'experts scientifiques et techniques
- d'informations validées recueillies dans des banques de données nationales et internationales
- des résultats d'une étude bibliographique

La définition des seuils d'aptitude à la biologie a été placée sous l'autorité d'un comité scientifique.

Classes de qualité pour 3 altérations					
Classe de qualité	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Indice de qualité	80	60	40	20	
Matières organiques et oxydables					
Oxygène dissous (mg/l)	8	6	4	3	
Taux sat. O ₂ (%)	90	70	50	30	
DBO ₅ (mg/lO ₂)	3	6	10	25	
DCO (mg/lO ₂)	20	30	40	80	
KMnO ₄ (mg/lO ₂)	3	5	8	10	
COD (mg/l C)	5	7	10	12	
NH ₄ (mg/l-NH ₄)	0,5	1,5	2,8	4	
NKJ (mg/l-N)	1	2	4	6	
Nitrates					
NO ₃ ⁻ (mg/l NO ₃)	2	10	25	50	
Matières phosphorées					
Phosphore total (mg/l)	0,05	0,2	0,5	1	
PO ₄ ³⁻ (mg/l PO ₄)	0,1	0,5	1	2	

Figure 5.

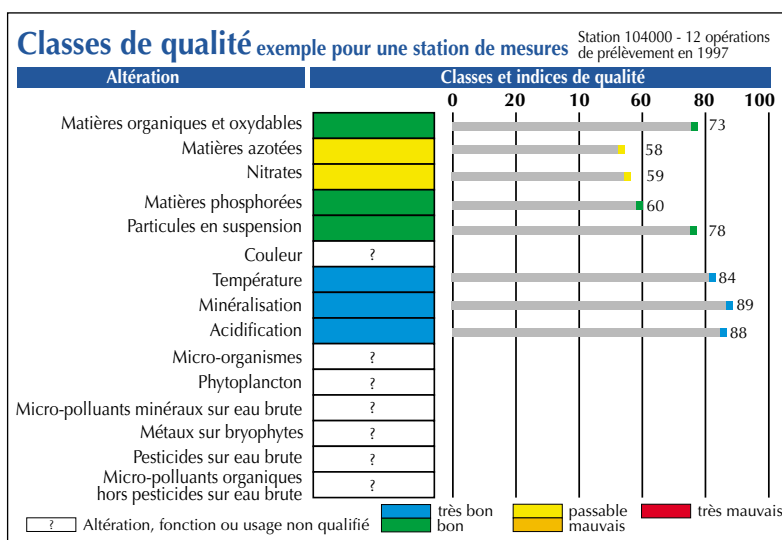


Figure 6.

La qualité de l'eau

La qualité de l'eau est décrite, pour chacune des altérations, à l'aide :
 - de 5 classes de qualité allant du bleu pour la meilleure, au rouge pour la pire,
 - d'un indice variant en continu de 0 (le pire) à 100 (le meilleur). (fig. 4, 5 et 6)

L'indice de qualité permet de juger de l'évolution de la qualité de l'eau à l'intérieur d'une même classe, sans même qu'il y ait changement de classe. C'est donc une évaluation précise.

La grille de qualité de l'eau résulte, pour chaque paramètre d'une altération, de la combinaison, pour cette altération, des trois grilles

Les matières organiques et oxydables dans les cours d'eau

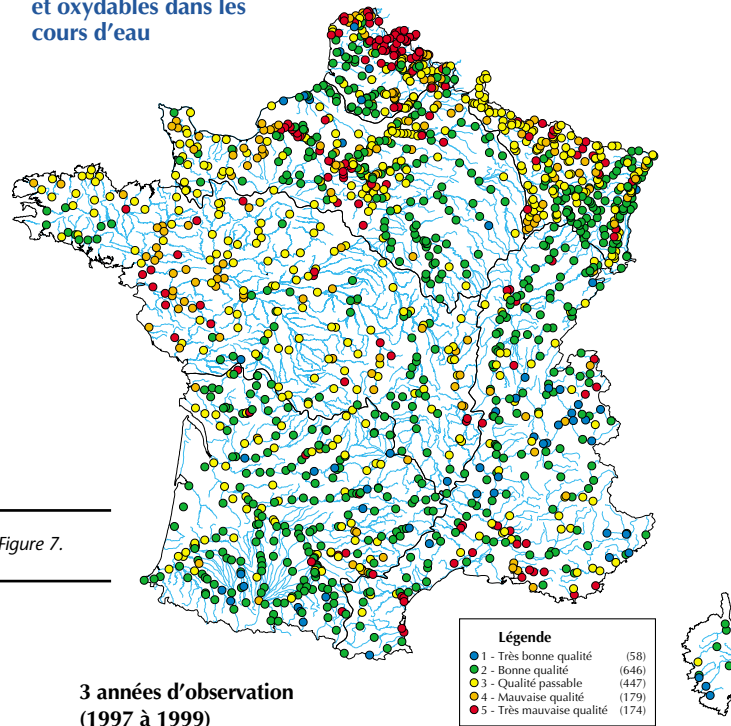


Figure 7.

3 années d'observation
(1997 à 1999)

Source : Agences de l'Eau - novembre 2000 - RNDE - Cartographie réalisée par la BNDE - Version 2.0

d'aptitude à la biologie, à la production d'eau potable et aux loisirs et sports nautiques. Elle en constitue donc une sorte de synthèse. Cette grille de qualité conduit à retenir les principes suivants :

- lorsque la qualité est très bonne, les aptitudes à la biologie, à la production d'eau potable et aux loisirs et sports aquatiques sont très bonnes,
 - lorsque la qualité est très mauvaise un de ces 3 aptitudes au moins est très mauvaise,
 - lorsque la qualité est bonne, moyenne ou mauvaise, une ou plusieurs de ces 3 aptitudes sont bonnes, moyennes ou mauvaises.
- Il n'y a donc pas de lien direct entre classe de qualité et classe d'aptitude pour la fonction biologique et les usages.

D'une qualité par altération vers une qualité globale de l'eau

Une détermination de la qualité de l'eau opérée selon ces principes n'exclut pas que l'on puisse souhaiter définir, par souci de simplification ou de synthèse, lui-même dicté par des impératifs de meilleure communication, une qualité globale de l'eau.

Une telle image globale présenterait l'avantage supplémentaire d'une cohérence avec l'objectif généralisé de la Directive Cadre Européenne d'un bon état écologique des milieux aquatiques, entendu comme la combinaison de la qualité chimique de l'eau (impacts sur la flore et la faune aquatique) et de sa qualité biologique.

Selon la directive cadre, la qualité chimique de l'eau comprend trois composantes :

- des paramètres généraux que l'on peut appeler macropolluants (matière organique, nutriments...)
- les micropolluants non synthétiques (métaux essentiellement)
- les micropolluants synthétiques (pesticides, solvants chlorés, hydrocarbures aromatiques...)

A l'aide du SEQ Eau et en accord avec ces principes, la qualité de l'eau pourrait donc être évaluée, en France, sur la base de son aptitude à assurer les équilibres biologiques (fonction biologie du SEQ Eau). On distinguerait ainsi, dans l'esprit de la directive cadre :

- une qualité physicochimique de l'eau prenant en compte les 8 altérations macropolluants pertinentes pour la fonction biologie (qui serait la qualité globale des eaux en France)

- une qualité de l'eau vis-à-vis de l'ensemble des micropolluants organiques, dont les pesticides,
 - une qualité de l'eau vis-à-vis des micropolluants minéraux (métaux).
- Un logiciel informatique disponible La première version du logiciel informatique SEQ-Eau est disponible et diffusée depuis 1999. Ce logiciel est téléchargeable à partir du site : <ftp://seq-eau@www.rnde.tm.fr> La deuxième version de ce logiciel, ergonomiquement améliorée, paraîtra dans le courant de l'année 2001. Elle intégrera notamment :
- la réglementation française et européenne parue depuis 1999
 - les éléments d'évaluation de la qualité globale de l'eau

Un protocole d'évaluation très précis et strict

Dans un souci de représentativité et de pertinence du diagnostic, le traitement des données de qualité des eaux par le SEQ-Eau est encadré par des règles strictes :

- la qualification d'une altération se fait par l'analyse impérative de paramètres donnés
- des fréquences minimales de mesures et l'indication impérative

de périodes de mesures sont assignées à chaque paramètre d'une altération

- la détermination des trois qualités globales passe par l'évaluation impérative d'altérations données
- pour chaque prélèvement, une classe d'aptitude, une classe de qualité et un indice de qualité pour une altération sont donnés en regard du plus limitant des paramètres qui les caractérise,
- sur une période d'une ou plusieurs années, la classe d'aptitude, la classe de qualité ou l'indice de qualité sont établis, pour chaque altération, selon la règle des 90% : on retient la classe la plus défavorable après avoir éliminé 10% des plus mauvais prélèvements. On évite ainsi de prendre en compte des conditions exceptionnelles, peu représentatives de la situation réelle observée

- un ensemble de prélèvements (une année ou plusieurs années) est indispensable pour calculer la qualité globale évaluée selon la règle des 95% ; dans ce cas, on élimine seulement 5% des données les plus défavorables car le nombre d'informations prises en compte pour évaluer la qualité globale est beaucoup plus important que celui pris en compte pour évaluer la classe de qualité ou la classe d'aptitude de l'eau vis à vis de chaque altération. ■

LE SEQ-PHYSIQUE

Jean-Pierre REBILLARD - Agence de l'Eau Adour-Garonne

Le système d'évaluation de la qualité du milieu physique est un outil destiné à satisfaire deux objectifs :

- évaluer l'état de la qualité des composantes physiques des cours d'eau en mesurant leur degré d'altération par rapport à une situation de référence,
- offrir un outil d'aide à la décision des choix stratégiques d'aménagement, de restauration et de gestion des cours d'eau.

Que désigne t-on par milieu physique et l'évaluation de sa qualité ?

Au sein d'une vallée, un cours d'eau est un système naturel, complexe et ouvert ; il assure **la collecte, le transfert, l'évacuation ou le stockage** des eaux de ruissellement et des matériaux minéraux ou organiques issus de l'érosion superficielle d'une part ; il permet aussi le renouvellement des organismes aquatiques ou riverains. Le fonctionnement d'un cours d'eau fait appel aux processus hydrodynamiques (écoulement, débordement et infiltration) et morphodynamiques (érosion, transport et sédimentation).

Schéma 1.

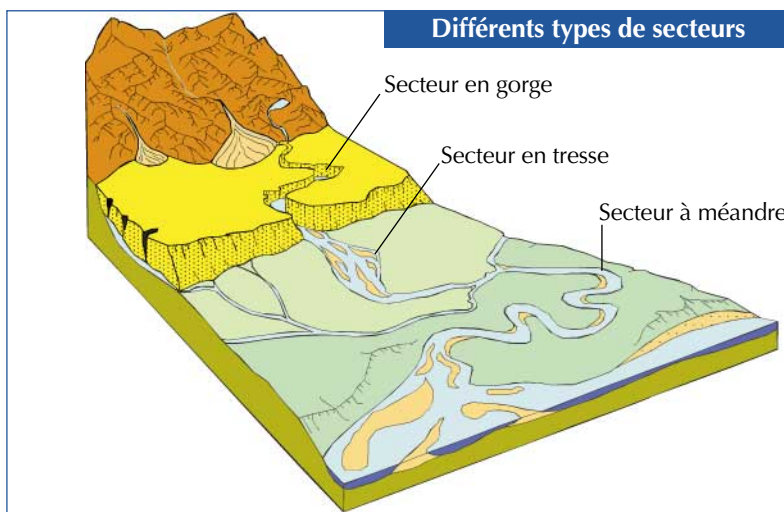
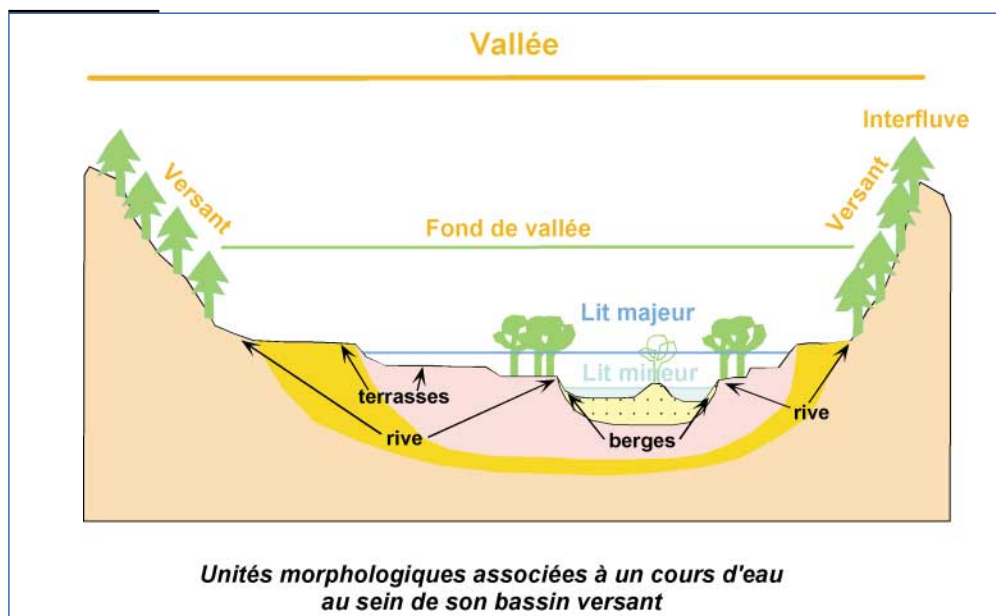


Schéma 2.

Ces processus s'expriment à l'intérieur d'un espace composite : l'hydrosystème (cf schéma 1) où l'on distingue généralement :

- **le lit mineur** = fond du lit + berges + atterrissements (bancs de galets...)
 - **le lit majeur** = lit d'inondation + annexes fluviales (bras morts ...)
- C'est cet hydrosystème qui est désigné par les gestionnaires du milieu aquatique sous un terme générique

de **milieu physique**.

La qualité physique d'un cours d'eau peut se définir en évaluant d'une part **l'altération de son état** (nature du fond ou des berges), d'autre part **par la perturbation de son fonctionnement** (blocage des écoulements ou des matériaux solides, limitations des débordements...).

La nécessité d'une typologie et d'un système de pondération

Pour évaluer la qualité physique d'un secteur de cours d'eau, il faut répondre en premier lieu à la question suivante : **A quel type de rivière appartient-il ?** En effet, comme l'illustre le schéma 2, on constate qu'une rivière évolue de l'amont vers l'aval (élargissement du lit, diminution de la pente longitudinale, écoulements de type torrentiel passant au type fluvial etc...). Ainsi, par exemple on peut passer successivement d'un secteur en gorge, à un tronçon en tresse puis à méandres. A une échelle plus importante, les diversités régionale existantes (géologie, formes du relief, climat) génèrent différents types de vallées.

Cependant, pour être en mesure de comparer des secteurs de cours



La Maronne à Saint-Martin de Val.



La Boutonne en aval de Saint-Jean d'Angely (17).

Des typologies variées

entre eux, il est nécessaire d'établir des **pondérations**. En effet, l'impact d'un aménagement est différent selon le type de cours d'eau. Ainsi, pour garder le même exemple, la mise en place de digues sur un secteur en gorges n'aura pas un impact trop important sur le fonctionnement du cours d'eau dans la mesure où, naturellement, la rivière ne peut pas y déborder. Par contre, la construction d'ouvrages d'endiguement pour limiter les crues de plaine entraîne des répercussions notables sur les communautés biologiques du secteur chenalisé. L'absence d'interconnexion entre le lit mineur et le lit majeur peut limiter la reproduction ou la régénération de certaines espèces animales et

végétales (brochet et saules arbus-tifs par exemple). On assiste également très souvent à l'homogénéisation des conditions d'écoulement limitant ainsi la diversité d'habitat.

L'outil d'évaluation de la qualité du milieu physique

En 1997, le Ministère de l'Environnement et les agences de l'eau ont mis au point un outil **expérimental** d'évaluation de la qualité physique du milieu, dont les grands principes sont décrits ci-après.

La description concerne l'ensemble du cours d'eau découpé en tronçons considérés comme homogènes, c'est à dire ne présentant pas de rupture majeure dans leur fonctionnement ou leur morphologie.

Ce **découpage** est avant tout un travail d'analyse cartographique et bibliographique qui cependant doit être complété par une visite de terrain pour vérifier la pertinence de certaines informations. La limite des différents secteurs est déterminée en prenant en compte à la fois des composantes naturelles (nature du sol, pente de la vallée, largeur du lit mineur...) et anthropiques si celles-ci sont de nature à modifier le milieu physique (barrages, agglomérations...). Pour chaque tronçon de cours d'eau, une fiche de description du milieu physique est renseignée. Cette fiche de plus de 40 paramètres permet de décrire le lit mineur (nombre de coupures transversales, sinuosité,

L'indice est une expression de l'état de dégradation du tronçon par rapport à sa typologie de référence

Indice milieu physique (%)	Classe de qualité	Signification - interprétation
81 à 100	Qualité excellente	Le tronçon présente un état proche de l'état naturel compte tenu de sa typologie
61 à 80	Qualité assez bonne	Le tronçon a subi une pression anthropique modérée. Il conserve cependant une bonne fonctionnalité et offre les composantes physiques nécessaires au développement d'une flore et d'une faune diversifiées
41 à 60	Qualité médiocre	Le tronçon a subi des interventions importantes (aménagements hydrauliques par exemple). Son fonctionnement est perturbé. La disponibilité en habitats s'est appauvrie.
21 à 40	Qualité mauvaise	Milieu très perturbé. En général les trois compartiments (lit mineur, lit majeur et berges) sont atteints. La disponibilité des habitats devient faible et la fonctionnalité du cours d'eau est très diminuée.
0 à 20	Qualité très mauvaise	Milieu totalement artificialisé, ayant perdu totalement son fonctionnement et son aspect naturel (cours d'eau canalisé).

faciès d'écoulement...), les berges (matériaux, stabilité, mobilité, composition de la végétation, continuité de la ripisylve...) et le lit majeur (occupation des sols, axes de communication, espace de divagation...). Cette fiche s'accompagne d'une notice explicative, qui permet de guider l'observateur lors de son recueil de données sur le terrain. Un logiciel permet de calculer l'indice milieu physique de chaque tronçon par l'analyse multicritère des 40 paramètres renseignés. Ce type d'analyse consiste à affecter des pondérations aux différents paramètres, en fonction de leur

importance relative (les pondérations sont variables en fonction de la typologie du cours d'eau considéré). L'indice obtenu (cf tableau page 13) est une expression de l'état de dégradation du tronçon par rapport à sa typologie de référence.

Un outil encore en chantier au niveau français et européen

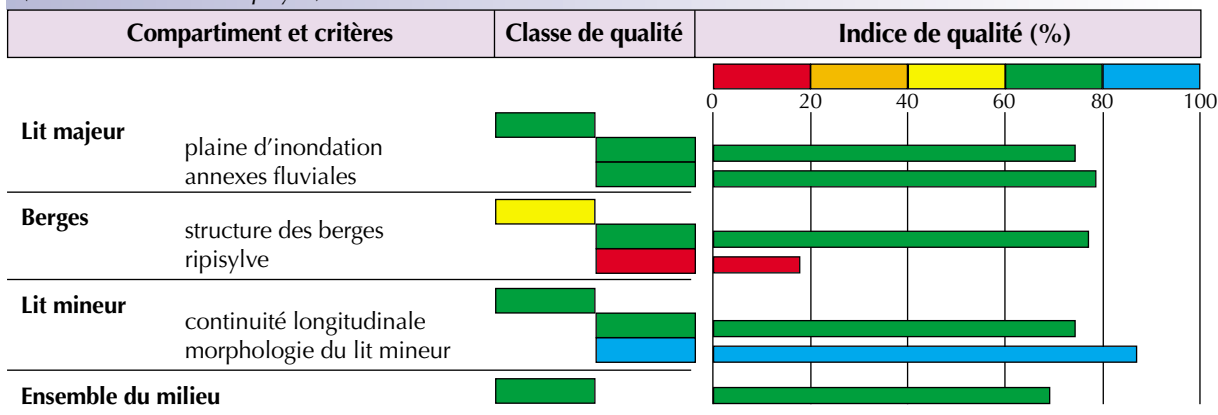
A partir de 1998, les agences ont confié la réalisation de tests concernant cet outil expérimental à des bureaux d'études, des scientifiques et des techniciens de rivière. Les retours d'expériences font état de

difficultés notamment dans l'utilisation de la typologie, le recueil des données, la façon de prendre en compte l'impact de dégradations amont ou aval sur la qualité du tronçon étudié et l'interprétation des résultats.

L'ensemble des tests réalisés avec la version "expérimentale" seront analysés à partir de 2001, de façon à élaborer une version opérationnelle (outil applicable en routine en 2003) du SEQ-Physique qui tienne compte des résultats de cette synthèse et des recommandations européennes. (cf encart page 15).

Exemple de résultats sur un cours d'eau : la Boutonne à Chef-Boutonne

(à noter l'absence de ripisylve)



La Boutonne au niveau de Chef Boutonne.



Photo : Jean-Pierre REILLARD

MORPHOLOGIE DES COURS D'EAU : VERS UN OUTIL STANDARD EUROPÉEN

Différents groupes de travail sont chargés de formuler des recommandations de suivi du milieu naturel dans toutes ses composantes (eau, biologie et hydromorphologie), pour répondre à l'objectif général de la nouvelle Directive Cadre Européenne donné aux Etats Membres d'atteindre un bon état chimique et écologique de toutes les eaux de surface à l'horizon de 2015. Concernant spécifiquement la morphologie des cours d'eau, un groupe international constitué

depuis deux ans proposera un premier standard européen (= texte pré-normatif) pour le recueil, le traitement, l'interprétation et la présentation des données.

Ce standard a été élaboré à partir des 4 principaux outils existants dans les pays de l'union européenne (Royaume-Uni, Allemagne, Autriche et France) reconnus comme étant les plus opérationnels. Il a néanmoins été élaboré dans l'esprit non pas pour constituer un outil commun, mais pour que chaque Etat Membre

conserve toute latitude de développer ou perfectionner son propre outil en respectant toutefois les recommandations du texte.

Ce standard sera présenté en vue d'être discuté lors de la prochaine réunion plénière du groupe "WG2 : "méthodes biologiques" qui se tiendra fin mai en Norvège. Des essais d'intercalibration entre les 4 outils déjà existants seront alors entrepris en été 2001 sur des cours d'eau communs pour affiner le contenu du standard.

Perspectives

Dans un souci de perfectionnement de l'outil, il faudra entamer une réflexion de fond sur la notion de "réversibilité" et l'hydrologie.

Un point important pour évaluer l'impact liés aux aménagements de rivière concerne la durée pendant laquelle les effets d'une intervention se font sentir, autrement dit le degré de réversibilité des modifications imposées. Il conviendra de déterminer si la rivière pourra (effets réversibles) ou non (effets irréversibles) retrouver sa morphologie antérieure à l'aménagement dans un temps très court à l'échelle humaine.

Actuellement, les descripteurs hydrologiques présentent de nombreuses limites. En ce qui concerne par exemple les aménagements de prélèvements d'eau courants (pompage), le simple fait de noter leur présence sur un secteur donné ne traduit pas nécessairement une modification significative du débit d'étiage et ne traduit absolument pas une modification significative du volume d'eau moyen écoulé annuellement. Par contre tous les prélèvements cumulés d'amont peuvent avoir un impact significatif. Or l'outil actuel ne prend pas en compte cet élément puisqu'il "raisonne" par tronçons individualisés (sans liaison avec les précédents ou les suivants).

Le réseau hydrographique du bassin est constitué à plus de 85 % par de tout petits cours d'eau (source BD Carthage). Or, il semble que ces

ruisseaux soient touchés par divers types d'aménagement, depuis les rectifications, recalibrages pour favoriser le drainage des terres agricoles et faciliter le remembrement, jusqu'à l'implantation de barrages de dérivation, retenues collinaires... La connaissance de l'état de ces ruisseaux est intéressante pour les gestionnaires mais il paraît illusoire d'en évaluer l'altération de manière exhaustive. L'utilisation d'outils de télédétection (photographies aériennes ou satellite...) et de plans d'informations géographiques numérisés récents (Modèles Numériques de Terrain, cartographie de l'occupation des sols...) permettrait d'essayer de mettre en évidence de façon plus globale les actions anthropiques (transformation du couvert végétal, création d'ouvrages longitudinaux ou transversaux) susceptibles d'altérer les débits liquides ou solides.

Lorsque l'outil sera opérationnel et applicable à l'échelle des réseaux de surveillance du bassin, une partie du travail de recueil des données pourra être confiée aux DIREN du bassin, aux agents techniques de l'ONF et à des bureaux d'études. Toutefois, il semble important dès à présent d'associer à ce travail les techniciens de rivière qui officient au sein des CATER et des COR. Leur parfaite connaissance du terrain devrait en faire des partenaires privilégiés lors de la mise en place de cet outil sur le bassin. Quels que soient les partenaires retenus, la mise en place de sessions de

formation à l'hydromorphologie des rivières et à l'utilisation de cet outil semble indispensable. ■

De l'utilité d'outils de télédétection pour améliorer la connaissance (Gave de Pau à Artiguelouve. Zone en tresse).



Photo : Christian BEAUPRÉ

LE SYSTÈME D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ BIOLOGIQUE (SEQ-BIO) DES COURS D'EAU

Franck SOLACROUP - Agence de l'Eau Adour-Garonne

Si le SEQ-Eau et le SEQ-Physique fournissent respectivement les diagnostics sur la qualité physico-chimique de l'eau et les caractéristiques hydrologiques et morphologiques (voir ci-avant), le SEQ-Bio vise, pour sa part et principalement, à apprécier la qualité biologique du cours d'eau, c'est à dire à renseigner sur l'état de santé des peuplements végétaux et animaux liés au milieu aquatique.

L'étude des peuplements

Le SEQ-Bio repose sur l'utilisation et l'interprétation de paramètres biologiques obtenus à l'aide de méthodes validées qui partent du principe que l'étude des organismes vivants permet d'établir un diagnostic de l'état de l'écosystème.

Macrophyte
(Sagittaire en fleur).



Photo : Jean-Marie FERRONI



Diatomée
(Navicula).

En effet, toute dégradation du milieu, chimique (rejets polluants) ou physique (recalibrage, extraction de granulats, etc.), a une influence sur la composition et/ou la structure des biocénoses (présence ou absence d'espèce(s) sensible(s), richesse en espèces, abondance relative de chacune, etc.).

L'étude des peuplements du milieu aquatique ou inféodés à lui (macroinvertébrés, diatomées, oligochètes, poissons, macrophytes, ...), appelés bio-indicateurs, permet donc de déterminer des indices biologiques qui constituent une expression chiffrée de la qualité biologique (note variant entre 0 et 20 pour la plupart des indices). A ce jour, seuls l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) basé sur l'étude des macro-invertébrés benthiques (larves d'insectes, mollusques, crustacés, vers) et l'Indice Biologique Diatomique (IBD) qui s'intéresse aux diatomées (algues brunes unicellulaires) sont opérationnels dans le SEQ-Bio, mais de nombreux autres paramètres sont en voie d'intégration tels que l'Indice Poisson, l'Indice Oligochètes de Bioindication des Sédiments fins (IOBS) et l'Indice Biologique Macrophyte Rivières (IBMR).

INTÉRÊTS DES MÉTHODES BIOLOGIQUES

- Elles caractérisent les perturbations par leurs effets sur les êtres vivants et détectent toutes les influences, quelles qu'elles soient, y compris celles des substances ou phénomènes inconnus de l'observateur,
 - Elles peuvent mettre en évidence les effets des mélanges de contaminants (synergies),
 - Les bio-indicateurs intègrent le facteur temps : alors qu'un dosage chimique donne une image ponctuelle de la qualité de l'eau, un organisme qui accomplit tout ou partie de son cycle vital dans le milieu aquatique témoigne des conditions passées du milieu.
- Chacune des méthodes existantes étant plus ou moins sensible à un ou plusieurs types de perturbation, l'utilisation concomitante et complémentaire de plusieurs méthodes permet d'avoir une vision fiable et complète de la qualité biologique d'un site.

logique, morphologie, type de substrat rencontré...).

L'identification de problèmes ou phénomènes biologiques particuliers

Le SEQ-Bio permet également d'identifier, pour chacune des quatre sous-unités physiques, des problèmes ou phénomènes biologiques particuliers par l'intermédiaire des six indicateurs actuellement disponibles :

- présence de faune et flore remarquables (valeur du patrimoine biologique)
- présence de faune et flore pollu-sensibles (liées à la qualité physico-chimique de l'eau)
- état sanitaire des peuplements (maladies et affections parasitaires des poissons)
- prolifération d'espèces (invasion ou risque d'invasion d'espèces animales ou végétales)
- structure du réseau trophique (équilibre des peuplements végétaux et animaux)
- richesse taxonomique (équilibre de la composition des peuplements)



Photo : Robert ESTRADE

Poisson
(Brochet).

L'appréciation des incidences sur les usages

L'évaluation de la qualité biologique du cours d'eau rend possible l'appréciation de son incidence sur certains de ses usages, trois en particulier :

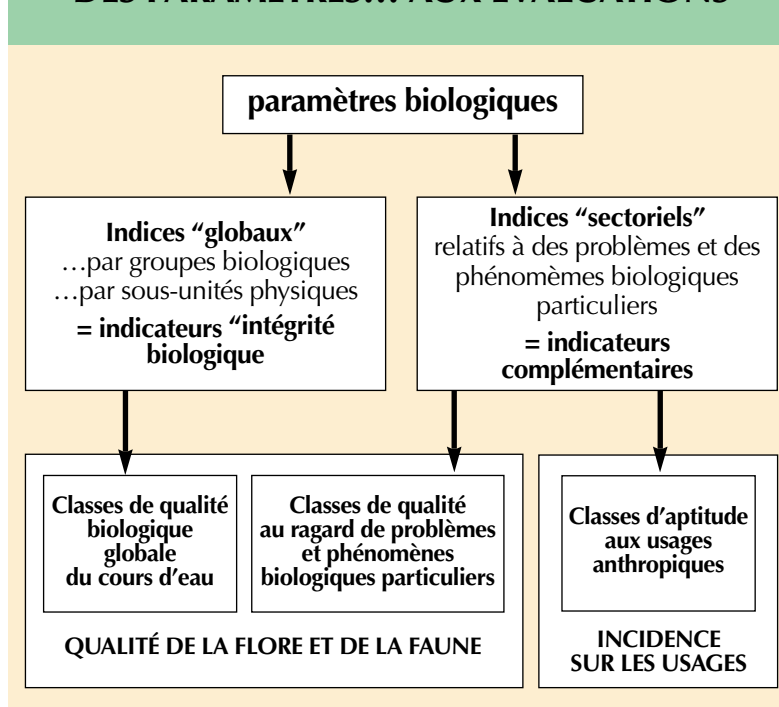
- la pêche (aptitude du cours d'eau à permettre la capture d'espèces correspondant à son type)
- les loisirs et sports nautiques (proliférations pouvant interférer avec la pratique de la baignade, du canotage,...),
- le prélèvement d'eau (phénomènes causant des problèmes de colmatage des prises d'eau).

Ces paramètres regroupés par affinité peuvent alors donner une évaluation de la qualité des biocénoses appréciée :

- pour six *groupes biologiques* (bactéries, végétaux aquatiques, invertébrés aquatiques, poissons, flore riveraine et terrestre, faune riveraine et terrestre), donnant ainsi une information synthétique sur les grandes composantes de l'écosystème,
- pour chaque *sous-unité physique* du cours d'eau (lit mineur, berges, lit majeur et sous-écoulement) qui sont les sites d'intervention des gestionnaires.

La prise en compte de la qualité de tous les groupes biologiques et de l'ensemble des sous-unités physiques permet d'apprécier la qualité biologique globale du cours d'eau. Elle constitue l'expression la plus globale et la plus synthétique des différentes composantes de l'intégrité d'un cours d'eau. Celle-ci tient compte pour son calcul du type de cours d'eau considéré, la faune et la flore susceptibles d'y être rencontrées dépendant fortement des caractéristiques propres à chaque cours d'eau (régime hydro-

S.E.Q. - BIO : DES PARAMÈTRES... AUX ÉVALUATIONS



Présentation des résultats

L'expression de la qualité des biocénoses se fait par l'intermédiaire de classes de qualité complétées par un indice (variant de 0 à 100) permettant d'affiner la classification. Elle est donnée par sous-unités physiques, par groupes biologiques et bien sûr pour le cours d'eau pris dans sa globalité.

Ces classes permettent de situer la qualité des biocénoses au regard des peuplements "de référence", c'est à dire rencontrés dans les secteurs non ou très peu influencés par l'activité anthropique.

Cinq classes sont ainsi définies : **Classe bleue- "très bonne qualité"** - situation identique ou très proche de la situation naturelle non perturbée, dite de référence.

Classe verte- "bonne qualité" - biocénoses équilibrées mais pouvant présenter des différences avec les valeurs de référence.

Classe jaune- "qualité passable" - situation significativement diffé-

rente de la situation de référence : disparition de la quasi-totalité des taxons caractéristiques et/ou déséquilibre notable de la structure des peuplements, avec toutefois maintien d'une bonne diversité des taxons.

Classe orange- "qualité mauvaise" - situation très différente de la situation de référence : disparition complète des taxons les plus sensibles et/ou un déséquilibre marqué de la structure des peuplements, accompagnée d'une réduction nette de leur diversité.

Classe rouge- "qualité très mauvaise" - biocénoses dominées par une diversité très réduite de taxons peu sensibles et généralement présents avec des abondances relatives fortes.

Les résultats se présentent sous forme de planche annuelle ou pluriannuelle. Le tableau 1 en donne un modèle.

Tableau 1: planche-type de résultats (illustré par un exemple)

QUALITÉ DE LA FLORE ET DE LA FAUNE				USAGES	INFLUENCE DES BIOCÉNOSES SUR LES USAGES
Indicateurs	Qualité des Biocénoses		USAGES DES BIOCÉNOSES		
	par groupe biologique	par compartiment physique			
Intégrité biologique	classe	Indice 0 100	Lit mineur Berges Lit majeur Sous-écoulement		
Bactéries					
Végétaux aquatiques					
Invertébrés aquatiques					
Poissons					
Flore riveraine et terrestre					
Faune riveraine et terrestre					
Qualité des biocénoses des compartiments physiques			Pêche	Loisirs et sports	Prélèvement d'eau
Niveau d'information : partiel			Aptitude aux usages		
Qualité biologique du cours d'eau					
Faune et flore remarquables					
Faune et flore polluo-sensibles					
État sanitaire					
Proliférations					
Réseau trophique					
Richesses taxonomiques					
Légendes	Très bon	Bon	Passable	Mauvais	Très Mauvais



Larve d'éphéméroptère (Ecdyonurus).

L'application du SEQ-Bio en Adour-Garonne :

Sur notre Bassin, plus de 150 points du Réseau National de Bassin (RNB) ou du Réseau Complémentaire Agence (RCA) font l'objet d'une évaluation biologique de la qualité par l'intermédiaire de l'IBGN et/ou de l'IBD. Dans le cadre du Réseau Hydrobiologique et Piscicole (RHP) mis en œuvre par le Conseil Supérieur de la Pêche, un suivi des populations piscicoles est entrepris sur 144 stations. Un réseau "Macrophytes" a également été engagé en 2000. Ce réseau, spécifique d'Adour-Garonne, porte sur 60 stations et permet de suivre la composition et le développement des herbiers (hydrophytes, hélophytes, bryophytes, algues filamenteuses) dans le lit mineur des cours d'eau.

Compte-tenu des données disponibles, les principes du SEQ-Bio pourront être testés sur plusieurs cours d'eau dès 2001. Toutefois, un travail important reste à entreprendre afin d'optimiser le protocole de suivi sur le Bassin et d'acquiescer un niveau d'information suffisant et pertinent sur l'ensemble des principaux cours d'eau. En particulier, il sera nécessaire de :

- jauger l'opportunité de créer et/ou de supprimer certaines stations
- prendre en compte, sur des stations existantes, des paramètres validés complémentaires à ceux déjà suivis
- développer et intégrer de nouveaux indicateurs complémentaires (bactériologie, biomarqueurs...)
- intégrer les paramètres nouvellement validés pour obtenir une information plus riche et permettre une évaluation de la qualité de l'ensemble des compartiments physiques du cours d'eau.

