

Rapport N° 2013/IB 01

- version E_4 (version finale)

Suivi comparatif de la qualité de certains cours d'eau dans le périmètre d'influence du projet minier et industriel de Vale Nouvelle-Calédonie

Phase 2 : exploitation des données recueillies en vue de l'élaboration d'un état de référence de la qualité des cours d'eau

N. MARY (ETHYC'O) & C. FLOUHR (HYTEC)
Editeur : CEIL

Mars 2014

Hytec
Études & Conseils VRD
Traitement des eaux usées
Hydrobiologie

ETHYCO
Étude HYdro systèmes COntinentaux



Observatoire de l'environnement
en Nouvelle-Calédonie

11 rue Guynemer
98800 Nouméa
Tel.: (+ 687) 23 59 69
www.oeil.nc

Photos de couverture :

Photo (grande) rivière Creek Baie Nord le 11/12/2012 (source Romain Barrière, Botanic)

Photo (petite) rivière Wajana le 10/01/2013 (source Romain Barrière, Botanic)

Sommaire

Résumé	6
Chapitre I - Introduction	8
Chapitre II - Méthodologie	9
II.1. Données recueillies dans le cadre de cette étude.....	11
Chapitre III - Analyse des données mésologiques	12
III.1. Qu'est-ce qu'une station de référence ?.....	12
III.2. Méthodologie	13
II.1.1. Les données considérées.....	13
II.1.2. L'analyse statistique des données.....	14
III.3. Résultats	15
II.2.1. Typologie mésologique.....	15
II.2.2. Comparaison des stations impactées avec leurs références respectives sur la base des paramètres mésologiques recueillis.....	19
Chapitre IV - Analyse des données physico-chimiques de l'eau	23
IV.1. Méthodologie.....	23
III.1.1. Les données physico-chimiques considérées.....	23
III.1.2. Le traitement des données physico-chimiques.....	26
III.2. Résultats	29
II.2.1. Analyse statistique.....	29
III.2.2. Comparaison des données Hytec et Vale NC	35
Chapitre V - Analyse des données faunistiques (macrofaune benthique)	38
V.1. Méthodologie.....	38
IV.1.1. Les données considérées.....	38
V.1.2. Le traitement des données faunistiques	40
V.2. Résultats.....	42
IV.2.1. Analyse faunistique globale	42
IV.2.1. Diversité faunistique et comparaison des données de Hytec et d'Aqua Terra.....	45
Chapitre VI - Analyse des données floristiques (diatomées)	57
VI.1. Méthodologie.....	57
V.1.1. Les données disponibles.....	57
V.1.2. Le traitement des données floristiques.....	58

VI.2. Résultats	61
V.2.1. Analyse floristique	61
V.2.2. Diversité des peuplements floristiques (diatomées)	64
Chapitre VII - Conclusions	70
Chapitre VIII - Recommandations	76
VIII.1. Typologie mésologique des stations d'étude et état de référence	76
VIII.2. Le choix des stations de référence	77
VIII.2.1. Kwè 1-E / Trou Bleu 3-C	77
VIII.2.2. Creek Baie Nord 6-T / Kaoris KAOR200	77
VIII.3. Comparaison des données recueillies par Hytec et Vale NC au niveau de la physico-chimie des eaux et recommandations	78
VI.3.1. Mesures réalisées in situ (température, pH, oxygène dissous, conductivité, turbidité)....	78
VI.3.2. Exploitation des données	79
VIII.4. Comparaison des données faunistiques (macrofaune benthique) recueillies par Hytec et Aqua Terra	80
VI.4.1. Des résultats difficilement exploitables pour un suivi à long terme	80
VI.4.2. Recommandations en ce qui concerne la macrofaune benthique.....	82
VI.4.3. Chroniques de données à acquérir dans le domaine biologique	85
Chapitre IX - Références bibliographiques	87

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : éléments d'interprétation de l'ACM réalisée sur les données mésologiques

Annexe 2 : éléments d'interprétation de l'ACP réalisée sur les résultats de physico-chimie des eaux

Annexe 3 : éléments d'interprétation de l'ACP réalisée sur les données faunistiques (macrofaune benthique)

Annexe 4 : éléments d'interprétation de l'ACP réalisée sur les indices de diversité et biologiques (macrofaune benthique)

Annexe 5 : éléments d'interprétation de l'ACP réalisée sur les données floristiques (diatomées)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Coordonnées et superficie des bassins versants des 6 stations échantillonnées (d'après Hytec & Mary, 2014)	9
Tableau 1.2	Séries de données collectées par Hytec durant les 2 années de suivi (4 campagnes de terrain*) (cf Hytec & Mary, 2014)	11
Tableau 2.1	Nomenclature des 20 observations considérées dans le traitement statistique des données mésologiques.....	14
Tableau 2.2	Classes de modalité considérées pour les paramètres mésologiques.....	15
Tableau 2.3	Comparaison mésologique entre Creek Baie Nord 6-T et Kaoris KAOR200.....	19
Tableau 2.4	Comparaison mésologique entre Kwè 1-E et Trou Bleu 3-C	20
Tableau 3.1.	Prélèvements d'eau réalisés par Hytec durant la présente étude en vue d'analyses physico-chimiques (cf Hytec & Mary, 2014). La nomenclature des observations choisie pour le traitement statistiques des données physico-chimiques est précisée.	23
Tableau 3.2	Observations de Vale NC (VAL) considérées dans le traitement statistique des données physico-chimiques.	25
Tableau 3.3	Paramètres écartés et considérés dans l'analyse statistique	26
Tableau 3.4	Valeurs de substitution pour les données situées en-dessous des limites de quantification 28	
Tableau 3.5	Comparaison des valeurs seuils proposées par Mary (1999) pour les cours d'eau non altérés drainant des péridotites et des valeurs relevées dans les stations impactées et de référence pour quelques paramètres	36
Tableau 4.1	Prélèvements de macrofaune benthique réalisés par Hytec durant la présente étude (cf Hytec & Mary, 2014). La nomenclature des observations choisie pour le traitement statistique est précisée.....	38
Tableau 4.2	Observations d'Aqua Terra (AT) considérées dans l'analyse statistique des données faunistiques	39
Tableau 4.3	Classes de qualité de l'IBNC et de l'IBS.....	41
Tableau 4.4	Comparaison des données recueillies par Aqua Terra et Hytec sur les stations Creek Baie Nord 6-T, Kwè 1-E et Trou Bleu 3-C aux 4 saisons d'échantillonnage (12 observations au total, 27 taxons les mieux représentés).	45
Tableau 4.5	Indices biologiques et de diversité calculés pour les données recueillies par Aqua Terra, Hytec et Ethyc'o durant la période d'étude considérée (28 observations au total, base de 5 prélèvements par station)	46

Tableau 4.5 (suite)	Indices biologiques et de diversité calculés pour les données recueillies par Aqua Terra, Hytec et Ethyc'o durant la période d'étude considérée (28 observations au total, base de 5 prélèvements par station).....	47
Tableau 4.6	Résultats des tests des signes et de Wilcoxon comparant les paramètres biotiques calculés sur les prélèvements réalisés par Aqua Terra et Hytec dans les 3 stations Creek Baie Nord 6-T, Kwë 1-E et Trou Bleu 3-C aux 4 saisons d'échantillonnage.....	49
Tableau 5.1	Prélèvements de diatomées réalisés par Hytec durant la présente étude (cf Hytec & Mary, 2014). La nomenclature des observations choisie pour le traitement statistique est précisée.	58
Tableau 5.2	Qualité biologiques indiquées par l'Indice biologique diatomique (IBD).....	59
Tableau 5.3	Qualités indiquées par l'indice trophique de Rott en fonction de la teneur des eaux en phosphore total.....	60
Tableau 5.4	Qualités indiquées par l'indice saprobique de Rott en fonction de la teneur des eaux en matières organiques.....	60
Tableau 5.5	Indices biologiques calculés pour les 25 observations collectées par Hytec (diatomées). Valeurs communiquées par M. Coste.	66
Tableau 5.6	Indices de diversité calculés pour les 25 observations collectées par Hytec (diatomées). Valeurs communiquées par M. Coste	67
Tableau 6.1	Etat de référence des stations suivies d'un point de vue mésologique, physico-chimique, faunistique et floristique (novembre 2011 à juin 2013)	72
Tableau 7.1	Ordre de priorité des substrats à échantillonner	82

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Plan de situation des stations d'étude (Hytec & Mary, 2014)	10
Figure 2.1	Résultats de l'ACM réalisée sur les données mésologiques des 20 observations (16 variables). Graphe des valeurs propres.....	16
Figure 2.2	Résultats de l'ACM réalisée sur les données mésologiques des 20 observations collectées par Hytec (16 variables). Position relative des observations sur le plan factoriel F1XF2. Les observations les plus contributives à la constitution des 2 premiers axes sont en italique et en gras sur la figure.	17
Figure 2.3	ACM réalisée sur les données mésologiques des 20 observations (16 variables). Position relative des observations et des modalités sur le plan factoriel F1XF2. Pour chaque variable, les 20 observations sont représentées par de petits carrés sur le plan factoriel F1 X F2.	18
Figure 3.1	ACP normée réalisée sur le tableau de données physico-chimiques de qualité des eaux (36 observations X 30 variables). Graphe des valeurs propres.	29
Figure 3.2	ACP normée réalisée sur le tableau de données physico-chimiques de qualité des eaux (36 observations X 30 variables). Position relative des observations (a) et cercle de corrélation	

	des paramètres (b) sur le plan factoriel F1XF2. En italique les observations de Vale NC (terminaison VAL). Les autres observations correspondent aux données d'HYTEC. En ombré, les observations de la période de moyennes eaux.....	30
Figure 3.3	ACP normée réalisée sur le tableau de données physico-chimiques de qualité des eaux (36 observations X 30 variables). Position relative des observations (c) et cercle de corrélation des paramètres (d) sur le plan factoriel F1XF3. En italique les observations de Vale NC (terminaison VAL). Les autres observations correspondent aux données d'HYTEC. En ombré, les observations de la période de moyennes eaux.....	31
Figure 4.1	ACP centrée réalisée sur les données faunistiques (28 observations x 35 taxons). Graphe des valeurs propres.	42
Figure 4.2	Résultats de l'ACP centrée réalisée sur les données faunistiques (28 observations x 35 taxons). Position relative des observations et des taxons sur le plan factoriel F1XF2. En italique les observations de Aqua Terra (AT), en ombré, les observations d'Ethyc'O (NM). 43	
Figure 4.3	Résultats de l'ACP normée réalisée sur les indices de diversité et indices biologiques (28 observations x 8 variables). Position relative des observations et cercle de corrélation des variables sur le plan factoriel F1XF2. En italique les observations de Aqua Terra (AT), en ombré, les observations d'Ethyc'O (NM).	48
Figure 4.4	Comparaison de la richesse taxonomique et des indices biologiques IBNC et IBS obtenus par Hytec et Aqua Terra sur Trou Bleu 3-C, Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T aux 4 saisons (5 prélèvements).	51
Figure 4.5	Supports prospectés par Hytec et Aqua Terra dans la station Trou Bleu 3-C au cours des 4 saisons d'échantillonnage (les supports sont classés de gauche à droite du plus biogène au moins biogène).	53
Figure 4.6	Comparaison des supports prospectés par Aqua Terra et Hytec durant l'étude (données correspondant aux stations Trou Bleu 3-C, Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T pour les 4 saisons d'échantillonnage). Les supports sont classés du plus biogène au moins biogène à partir des bryophytes et en suivant le sens des aiguilles d'une montre. Le pourcentage indique la proportion de substrats prospectés par chaque opérateur (sur 60 prélèvements).	55
Figure 5.1	ACP centrée réalisée sur les données floristiques (25 observations x 98 espèces). (a) graphe des valeurs propres ; (b) position relative des observations sur le plan factoriel F1XF2 ;	62
Figure 5.1 (suite)	ACP centrée réalisée sur les données floristiques (25 observations x 98 espèces). (c) position relative des espèces sur le plan factoriel F1XF2.....	63
Figure 5.2	Abondances relatives des espèces cosmopolites, tropicales (tétratogènes) et endémiques dans les peuplements floristiques des stations échantillonnées.	64

Résumé

Cette étude à l'initiative de l'OEIL (Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie) avait pour principaux objectifs de :

1/ mettre en œuvre un **suivi comparatif** de la qualité de 3 stations de rivières régulièrement suivies par Vale NC et pour certaines impactées directement par le projet minier et industriel (rivière Kwë, rivière du Trou Bleu et Creek Baie Nord) ;

2/ réaliser un **état de référence**, sur deux années, de la qualité de 6 stations dont les 3 précitées et 3 autres situées dans des cours d'eau en limite de la zone du projet minier et industriel et, *a priori*, non encore impactées par ce dernier (Ruisseau des Kaoris, rivière Kuébini et rivière Wajana).

Les prospections ont été effectuées par Hytec, pour le compte de l'OEIL, les mêmes jours que celles du service environnement de Vale NC (pour les prélèvements d'eau et de sédiments) et celles de la société Aqua Terra, sous-traitant de Vale NC (pour le suivi de la macrofaune benthique). Au total, 4 campagnes de prélèvements ont été réalisées (novembre 2011, juin 2012, décembre 2012 / janvier 2013, juin 2013), au cours desquelles les compartiments suivants ont été prélevés puis analysés : l'eau de rivière dans les 6 stations à l'étiage et 4 stations en moyennes eaux ; les sédiments dans une seule station à l'étiage ; la macrofaune benthique dans 4 stations ; les diatomées dans les 6 stations à l'étiage et 4 stations en moyennes eaux. **L'ensemble des données recueillies ont été analysées au moyen de tests statistiques et d'analyses multivariées.**

D'un point de vue mésologique, les résultats mettent en évidence une **typologie des stations d'étude** fondée principalement sur la superficie du bassin versant au droit de la station, la pente moyenne du cours d'eau, la végétation des berges qui conditionne l'ombrage du cours d'eau, les largeurs du lit mouillé et du lit mineur, la présence de granulats fins (graviers et latérites).

De plus, les résultats obtenus suggèrent qu'il serait préférable d'associer aux stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E des stations de référence avec des caractéristiques mésologiques similaires (largeurs du lit mouillé et lit mineur, taille de bassin versant à la station et ordre de drainage). Ces stations pourraient se situer dans les cours d'eau actuellement pressentis (Ruisseau des Kaoris et Rivière du Trou Bleu) ou dans d'autres cours d'eau de la zone d'étude.

D'un point de vue physico-chimique, les analyses mettent en exergue une variabilité temporelle de la qualité des eaux des rivières, elles sont plus chaudes et moins oxygénées à l'étiage qu'en période de moyennes eaux et avec des teneurs en aluminium et fluorures dissous en général plus élevées en période de moyennes eaux. De plus, les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E se différencient des stations de référence Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200, Kuébini KUEB300 et Wajana WAJA300 par des teneurs en sulfates dissous (SO_4) beaucoup plus importantes, ainsi que des concentrations en ions majeurs (magnésium, potassium, sodium) plus élevées. L'analyse statistique discrimine peu les observations de Vale NC pour les 3 stations Creek Baie Nord 6-T, Trou Bleu 3-C et Kwë 1-E en raison de valeurs manquantes et du fait que les limites de détection de la majorité des analyses réalisées par Vale NC sont trop élevées, ce qui conduit à une homogénéité des données.

D'un point de vue faunistique (macrofaune benthique), Creek Baie Nord 6-T se distingue des autres stations suivies par des peuplements faunistiques peu diversifiés, constitués principalement de taxons ubiquistes à densités élevées. Les résultats faunistiques de Hytec et Ethyc'O sur Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200 et Kuébini KUEB300 se différencient bien de ceux des stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E avec des richesses taxonomiques et des indices de diversité plus élevés. En revanche, les résultats des prélèvements faunistiques réalisés par Aqua Terra sur Kwë 1-E et sa station de référence

Trou Bleu 3-C sont relativement similaires, caractérisés par de faibles abondances, une faible richesse taxonomique, des indices de diversité peu élevés. Les prélèvements faunistiques réalisés par Aqua Terra présentent des richesses taxonomiques, des diversités bien moindres et une abondance plus faible que ceux d'Hytec (plus d'un tiers des taxons identifiés par Hytec n'a pas été récolté par Aqua Terra). En revanche, les indices basés sur la macrofaune benthique, l'indice biotique de Nouvelle-Calédonie (IBNC) et l'indice biosédimentaire (IBS), ne sont pas significativement différents entre les deux opérateurs pour un même prélèvement.

Enfin, **d'un point de vue floristiques (diatomées)**, les indices de diversité et biologiques calculés sur les résultats sont relativement élevés, indiquant une très bonne qualité en général pour les stations Kwë 1-E, Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200, Wajana WAJA300 et Kuébini KUEB300. Sur Creek Baie Nord 6-T, en revanche, la qualité biologique est passable à mauvaise. Néanmoins, aucun des indices utilisé ne discrimine correctement les observations. Les méthodes européennes existantes sont inadéquates pour les rivières de Nouvelle-Calédonie, ce qui met en exergue la nécessité de mise au point d'un indice biologique adapté.

Chapitre I - Introduction

Cette étude répond à une demande de l'OEIL (Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie) qui a souhaité :

1/ mettre en œuvre un **suivi comparatif** de la qualité de 3 cours d'eau régulièrement suivis et pour certains impactés directement par le projet minier et industriel de VALE Nouvelle-Calédonie¹ (rivière Kwë, rivière du Trou Bleu et Creek Baie Nord) ;

2/ réaliser un **état de référence**, sur deux années (4 campagnes de terrain), de la qualité de 6 cours d'eau dont les 3 précités et 3 autres rivières situées en limite de la zone du projet minier et industriel et, *a priori*, non encore impactées par ce dernier (Ruisseau des Kaoris, rivière Kuébini et rivière Wajana).

Le rapport « Hytec & Mary, 2014. Suivi comparatif de la qualité de certains cours d'eau dans le périmètre d'influence du projet minier et industriel de Vale Nouvelle-Calédonie. Phase 1 : Rapport de terrain et résultats d'analyses 2011-2013. OEIL Nouvelle-Calédonie. » présente les résultats des quatre campagnes de terrain, ainsi que la méthodologie d'échantillonnage pour chaque compartiment prospecté (eau de rivière, sédiments, macrofaune benthique, flore aquatique). Nous nous y référerons tout au long de ce rapport, ainsi qu'à l'expertise de Lascombe (2011).

Le présent travail s'appuie sur les données obtenues au cours des 4 campagnes d'échantillonnage. Il vise à faire une synthèse des données recueillies au moyen d'analyses statistiques multivariées, avec pour principaux objectifs :

1/ de dresser un état des lieux de la qualité des eaux des 6 stations échantillonnées à partir des données recueillies durant les deux années de suivi afin de disposer d'un état de référence ;

2/ d'établir une typologie des stations d'étude plus fine que celle des hydroécocorégions (principalement fondée sur la mésologie) ;

3/ de confirmer le choix des stations de référence par rapport aux stations impactées par le projet minier et industriel, c'est-à-dire montrer que les stations impactées Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T ont des caractéristiques similaires d'un point de vue mésologique par rapport à leurs références respectives Trou Bleu 3-C et Kaoris KAOR200, de façon à ce que ces dernières puissent bien constituer des stations de comparaison ;

4/ de comparer les données obtenues par Hytec avec celles de Vale NC en ce qui concerne la physico-chimie de l'eau, sur la base des mêmes paramètres et d'effectuer des recommandations permettant d'harmoniser méthodes et résultats ;

5/ de comparer les données mésologiques et faunistiques (macrofaune benthique) obtenues par Hytec avec celles de Aqua Terra (sous-traitant de Vale NC) et d'effectuer des recommandations permettant d'harmoniser méthodes et résultats ;

¹ Dans la suite du rapport, Vale NC.

6/ de valider le choix des paramètres physico-chimiques à suivre pour définir l'état écologique des cours d'eau étudiés et, identifier, dans la mesure du possible, des valeurs seuils pour les paramètres physico-chimiques au-delà desquelles le milieu serait considéré comme perturbé. Cette référence de qualité devra être éprouvée sur d'autres campagnes ;

7/ de proposer des préconisations de surveillance du milieu aquatique en lien avec les spécificités du site et le projet d'exploitation pour les campagnes à venir.

Chapitre II - Méthodologie

Le rapport Hytec & Mary (2014) présente les principales caractéristiques des 6 stations d'étude (localisation, nomenclature, sources d'interférence), ainsi que la périodicité d'échantillonnage.

Le tableau 1.1 reprend les principales caractéristiques des 6 stations d'étude. La figure page suivante présente le plan de situation des stations d'étude.

Tableau 1.1 Coordonnées et superficie des bassins versants des 6 stations échantillonnées (d'après Hytec & Mary, 2014)

Catégorie de station	Rivière	Nom station	X (RGNC Lambert)	Y (RGNC Lambert)	Z (m) NGNC	Superficie du bassin versant à la station (ha)
1	Kwè	1-E	500 042	208 315	15	3 456
3 (réf. de 1-E)	Trou Bleu	3-C	499 124	206 972	5	713
1	Creek Baie Nord	6-T	491 882	207 361	30	757
3 (réf. de 6-T)	Ruisseau des Kaoris	KAOR200	488 737	211 735	15	1 399
3 (AEP)	Kuébini	KUEB300	503 272	215 614	5	3 756
3 (AEP)	Wajana	WAJA300	504 402	211 831	5	500

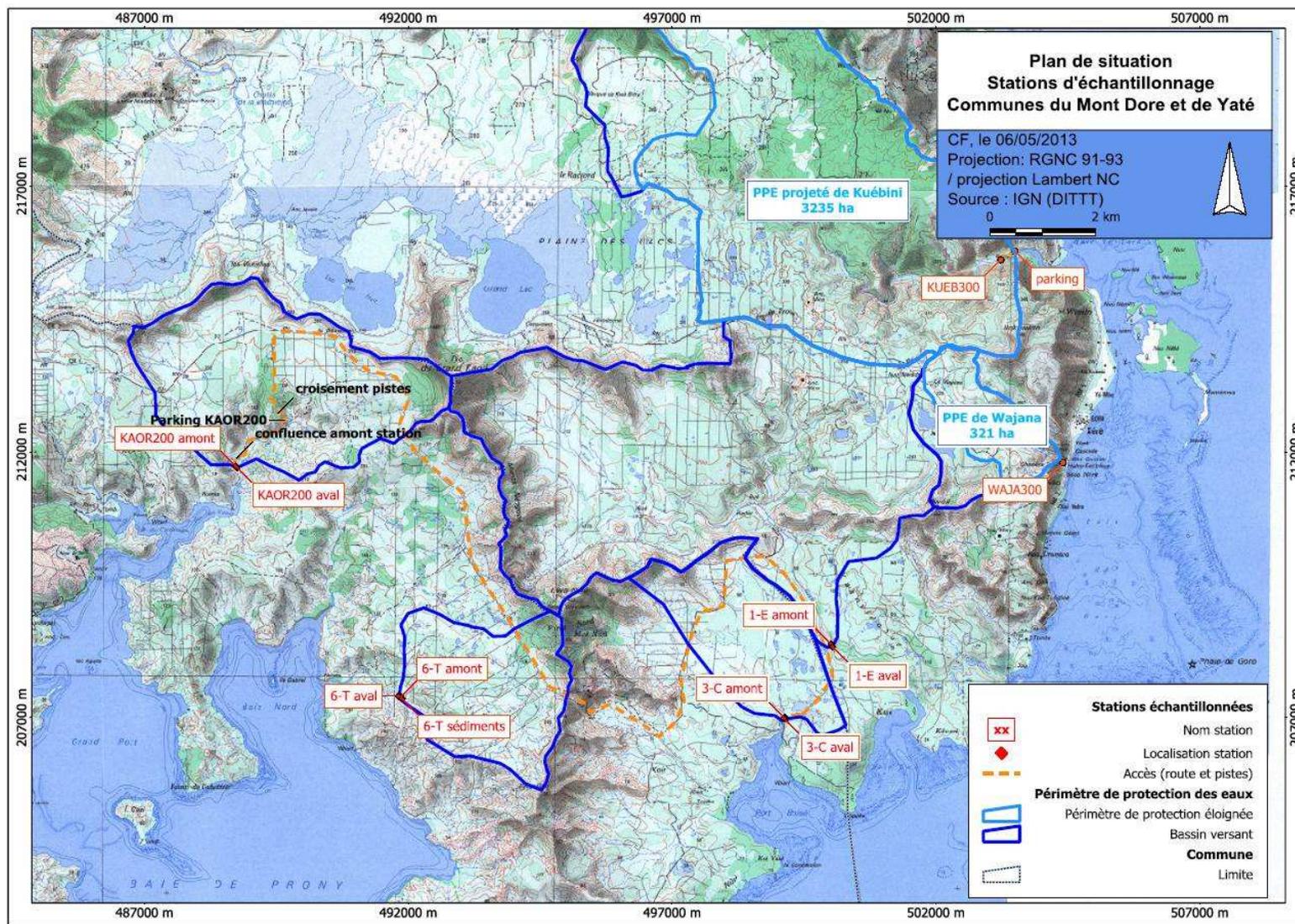


Figure 1.1 Plan de situation des stations d'étude (Hytec & Mary, 2014)

Toutes les stations suivies appartiennent à l'hydroécocorégion « HER D : Plaine du Grand Sud. Cette hydroécocorégion se caractérise par une zone de plateau ou à relief peu élevé abritant des bassins à dépôt colluviaux et fluviaux lacustres sur un substrat de péridotites. La zone est relativement bien arrosée. Le réseau hydrographique y est particulièrement peu dense et principalement constitué de plans d'eau ou de cours d'eau méandriformes » (Asconit & Biotop, 2011). **En particulier, le substrat géologique est comparable sur les 6 bassins versants échantillonnés.**

II.1. Données recueillies dans le cadre de cette étude

Les séries de données collectées par Hytec au cours des 4 campagnes de terrain sont résumées dans le tableau 1.2. Elles se résument de la façon suivante :

- 20 observations pour lesquelles des données de mésologie ont été relevées,
- 26 observations pour la physico-chimie,
- 13 observations pour la bactériologie,
- 14 observations pour la faune benthique,
- 28 observations pour les diatomées,
- 12 observations pour la ripisylve.

Les protocoles d'échantillonnage et les paramètres analysés pour chaque compartiment sont détaillés dans le rapport Hytec & Mary (2014).

Tableau 1.2 Séries de données collectées par Hytec durant les 2 années de suivi (4 campagnes de terrain*) (cf Hytec & Mary, 2014)

	Trou Bleu 3-C	Kwë 1-E	Kaoris KAOR200	Creek Baie Nord 6-T	Kuébini KUEB300	Wajana WAJA300	Blanc de terrain et duplicata	Nombre de séries de données obtenues à l'issue des 4 campagnes
Mésologie	4	4	4	4	2 (étiage)	2 (étiage)	-	20
Physico-chimie de l'eau	4	4	4	4	2 (étiage)	2 (étiage)	6	26
Bactériologie (eau)	2	2	2	1	1	2	3	13
Physico-chimie des sédiments	0	0	0	2 (étiage)	0	0	0	2
Benthos	4	4	2 (deuxième année de suivi)	4	0	0	0	14
Flore aquatique (diatomées)**	5	5	4	4	2	2	6	28
Ripisylve (étiage uniquement)	2	2	2	2	2	2	-	12

* Etiage année 1 : 22 novembre 2011 ; Moyennes eaux année 1 : 20 juin 2012 ; Etiage année 2 : 10 et 11 décembre 2012 / 18 janvier 2013 ; Moyennes eaux année 2 : 04 et 06 juin 2013

** Le phytobenthos n'a pas fait l'objet de prélèvements systématiques ; l'échantillonnage s'est limité aux macroalgues et l'analyse, que ce soit du phytobenthos ou du phytoplancton, n'a pas pu être réalisée dans le cadre de cette étude (voir Phase 1).

Les analyses statistiques multivariées ont concerné les compartiments pour lesquelles suffisamment de données ont été recueillies : mésologie, physico-chimique de l'eau, faune benthique, diatomées.

Les analyses multivariées permettent de décrire de façon simplifiée des grands tableaux de données du type (n observations X p variables). Leur principe est de créer, à partir de combinaisons linéaires des variables initiales, de nouvelles variables synthétiques non corrélées entre elles et de variance décroissante. Ces méthodes permettent ainsi de résumer l'information contenue dans un grand tableau de données et de visualiser, à l'aide de représentations graphiques simples, les ressemblances entre les observations et les liaisons entre les variables.

En fonction des phénomènes que l'on veut étudier et de la nature du tableau de données dont on dispose, il existe différentes méthodes multifactorielles fondées sur les mêmes théories mathématiques. Ainsi, une Analyse en Composantes Principales (ACP) permet de décrire un tableau de données quantitatives et une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) peut être réalisée pour l'étude d'un tableau de variables qualitatives. Elle équivaut à une ACP normée pour variables qualitatives (Chessel *et al.*, 1997).

Chapitre III - Analyse des données mésologiques

Objectifs : Identifier une typologie des stations, à partir du traitement statistique des données mésologiques et comparer les caractéristiques mésologiques des stations de référence et des stations impactées par le projet minier et industriel.

III.1. Qu'est-ce qu'une station de référence ?

La circulaire DCE 2004/08 du 23 décembre 2004 relative à la constitution et la mise en œuvre du réseau de sites de référence pour les eaux douces de surface en Europe définit ce qu'est un site de référence. Les critères de sélection concernent exclusivement les « pressions anthropiques » qui s'exercent sur les milieux ; celles-ci doivent être « nulles ou très faibles » pour qu'une station soit considérée comme site de référence. Ces sites sont plutôt à rechercher sur les cours d'eau moyens à très petits. Selon cette circulaire, **l'essentiel de la donnée à collecter concerne la biologie**, mais il reste important de collecter également de la donnée physico-chimique et hydro-morphologique, ne serait-ce que pour conforter le choix des sites de référence. Le réseau de sites de référence a pour objectif principal de constituer **les listes de taxons de référence** (invertébrés, poissons, diatomées, phytoplancton, ...) **pertinents par type de masses d'eau**.

Le guide de Moisan & Pelletier (2008) concernant la surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec complète cette définition. Pour ces auteurs, les **stations à comparer (station de référence versus station impactée) peuvent se situer sur un même cours d'eau ou sur des cours d'eau différents**. Les stations de référence sont également définies comme étant **minimalement exposées à l'activité humaine** et, **représentatives des cours d'eau présents dans la région étudiée**. Selon la région, la station choisie sera donc peu altérée ou la moins altérée possible par les activités humaines. Les principaux facteurs qui peuvent guider la recherche et le choix des stations de référence sont (*in* Moisan & Pelletier, 2008) :

- **La contamination ponctuelle** : elle devrait être absente des stations de référence. Tout rejet, répertorié ou non, doit être pris en compte.
- **La régulation du niveau d'eau** : les barrages ou les bassins de retenue ont un impact majeur sur la faune résidente. Les zones touchées par ces ouvrages ne devraient pas être sélectionnées comme station de référence.

- La végétation riveraine naturelle : celle-ci remplit plusieurs rôles primordiaux, dont la rétention des polluants, la protection contre l'érosion et la régulation de la température. Elle devrait être omniprésente aux stations de référence.
- La déforestation du bassin versant : La déforestation de la partie du bassin versant située en amont d'une station de référence devrait être minimale.
- La perturbation de l'habitat aquatique : Le dragage et les modifications du lit d'un cours d'eau doivent idéalement être absents à la station de référence et en amont de celle-ci.
- Le développement ou l'urbanisation du bassin versant : Les villes et les industries majeures devraient être absentes ou situées le plus loin possible en amont d'une station de référence. Il est opportun de vérifier la présence et la nature des rejets municipaux et industriels.
- Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau : La mesure de certaines variables de qualité de l'eau peut fournir de l'information concernant les types de polluants et leurs impacts sur le cours d'eau (concentrations en phosphore et en azote, en matières en suspension, mesure de la conductivité).

Lors d'études ciblées, les stations de référence doivent être sélectionnées en concordance avec les caractéristiques de l'habitat de la station impactée. **La composition et l'hétérogénéité du substrat, la vitesse du courant, l'ordre du cours d'eau et la superficie drainée peuvent être des variables à considérer pour le choix d'une station de référence vis-à-vis d'une station impactée** (Moisan & Pelletier, 2008).

III.2. Méthodologie

II.1.1. Les données considérées

Pour plus de cohérence et dans un souci d'homogénéité de la qualité des données, seules les données collectées par Hytec (pour le compte de l'OEIL) ont été considérées dans cette analyse (un seul opérateur).

Les données traitées se rapportent à la description des stations suivies, elles sont en général appréciées visuellement sur le terrain. Il s'agit par exemple du type d'environnement, de la pente à la station, de la granulométrie du lit mouillé de la rivière, de la largeur de la rivière à la station, de la composition des berges, de l'état du substrat, etc. Nous avons également considéré la turbidité, mesurée *in situ* au moyen d'un turbidimètre de type WTW Turb® 430IR, ainsi que les valeurs de superficie du bassin versant au droit des stations d'échantillonnage. Ces valeurs ont été générées au moyen du logiciel de traitement géographique de l'information (SIG) Manifold® sur la base des limites de bassin versant dessinées par Hytec.

L'analyse statistique a ainsi été réalisée sur les données collectées durant les 4 campagnes d'échantillonnage et pour les 6 stations d'étude. Le tableau suivant présente la nomenclature des 20 observations considérées dans l'analyse statistique.

Tableau 2.1 Nomenclature des 20 observations considérées dans le traitement statistique des données mésologiques

Campagne d'échantillonnage	Trou Bleu 3-C	Kwë 1-E	Kaoris KAOR200	Creek Baie Nord 6-T	Kuébini KUEB300	Wajana WAJA300	Total
Novembre 2011 (ET1)	3-C ET1	1-E ET1	KAOR200 ET1	6-T ET1	KUEB ET1	WAJA300 ET1	6
Juin 2012 (ME1)	3-C ME1	1-E ME1	KAOR200 ME1	6-T ME1	-	-	4
Décembre 2012 (ET2)	3-C ET2	1-E ET2	KAOR200 ET2	6-T ET2	KUEB ET2	WAJA300 ET2	6
Juin 2013 (ME2)	3-C ME2	1-E ME2	KAOR200 ME2	6-T ME2	-	-	4

ET1 : étiage année 1 ; ME1 : moyennes eaux année 1 ; ET2 : étiage année 2 ; ME2 : moyennes eaux année 2

Remarque : Il est important de souligner que les 6 stations considérées sont situées en cours inférieur de rivière, à une altitude inférieure ou égale à 30 m. Les stations Trou Bleu 3-C, Wajana WAJA300 et Kuébini KUEB300 sont localisées à une altitude de 5 m, Kwë 1-E et Kaoris KAOR200 à 15 mètres d'altitude et Creek Baie Nord 6-T à 30 mètres d'altitude. Toutes ces altitudes sont estimées à partir du fond topographique de l'IGN au 1/50 000^{ème}.

Vingt observations ont été retenues pour l'analyse des données mésologiques (données collectées par Hytec pour le compte de l'OEIL).

II.1.2. L'analyse statistique des données

Les données mésologiques considérées se rapportent à **16 paramètres** dont certains présentent des valeurs quantitatives et continues (superficie du bassin versant à la station, pourcentages des types de roches, pourcentage d'ombrage du cours d'eau, turbidité, largeurs du cours d'eau, pourcentage de latérites en milieu lotique et globalement dans la station) et d'autres paramètres des valeurs informatives ou nominales (environnement général de la station d'étude, pente à la station, type de végétation des rives,) (cf tableau 2.2).

Nous avons réalisé une analyse des correspondances multiples (ACM) sur ces données. Afin de traiter simultanément les 16 variables choisies, l'ensemble des données a été transformé en données qualitatives à l'aide de modalités. Les classes de modalité de chaque paramètre figurent dans le tableau 2.2.

Tableau 2.2 Classes de modalité considérées pour les paramètres mésologiques

Paramètre	1	2	3
Environnement général à la station	Maquis minier arbustif	Maquis minier arboré	Forêt primaire
Pente à la station	faible	moyenne	forte
Largeur moyenne du lit mouillé (m)	<10	10 à 29	> 29
Largeur du lit mineur (m)	< 10	10 à 30	> 30
Couverture par la végétation riveraine (%)	$0 \leq 40$	$41 \leq 80$	> 80
Type de végétation des rives	herbacées, savane, forêt secondarisée	maquis minier arbustif	Forêt primaire sur sol minier
Ombrage du cours d'eau (%)	0	$1 \leq 40$	> 40
Roche mère / dalles (%)	$0 \leq 40$	$40 \leq 70$	> 70
Blocs (%)	$0 \leq 40$	$40 \leq 60$	> 60
Pierres / galets (%)	0	$1 \leq 10$	> 10
Graviers (%)	$0 \leq 4$	> 4	
Recouvrement par les latérites globalement dans la station (%)	$0 \leq 50$	$51 \leq 80$	> 80
Recouvrement par les latérites en milieu lotique (%)	0	$1 \leq 80$	> 80
Turbidité (NTU)	< 0,6	$0,6 \leq 2$	> 2
Superficie du bassin versant au droit de la station (ha)	< 1000	$1000 \leq 3000$	> 3000
Ordre de drainage du cours d'eau à la station	≤ 5	> 5	

Les résultats de l'ACM sont présentés aux figures 2.1, 2.2 et 2.3.

III.3. Résultats

II.2.1. Typologie mésologique

Les axes factoriels des analyses multivariées (ACM, ACP) sont les espaces résumant au mieux l'information contenue dans le tableau de données initiales. Dans les résultats fournis, ces axes sont rangés par ordre d'inertie décroissante de telle sorte que le premier plan factoriel - constitué par les deux premiers axes factoriels F1 et F2 - soit toujours celui qui apporte le plus de renseignements sur les propriétés du nuage de points étudié. La part d'inertie expliquée par chaque axe peut être interprétée comme un pourcentage de l'information du nuage de points initial retranscrite par le plan factoriel.

Le graphe des valeurs propres de l'ACM (figure 2.1) indique que les 2 premiers axes représentent 46% de l'inertie totale des données (respectivement 28 % et 18% d'inertie expliquée par les axes F1 et F2). Ces pourcentages d'inertie élevés sur les 2 premiers axes traduisent une bonne variabilité d'un point de vue mésologique des observations (les stations se discriminent bien au niveau de leurs caractéristiques mésologiques).

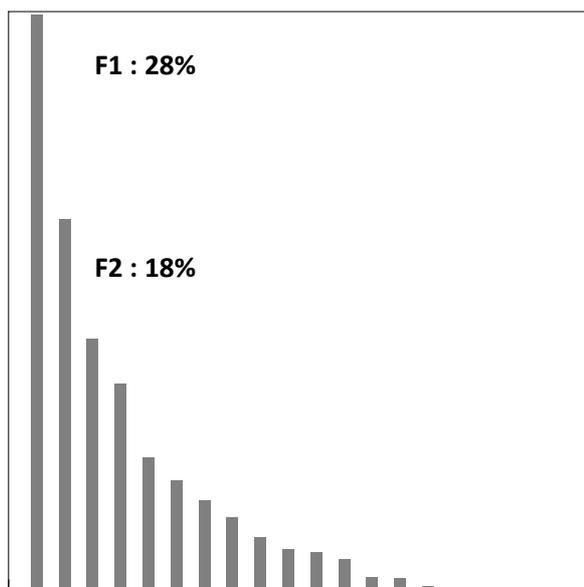


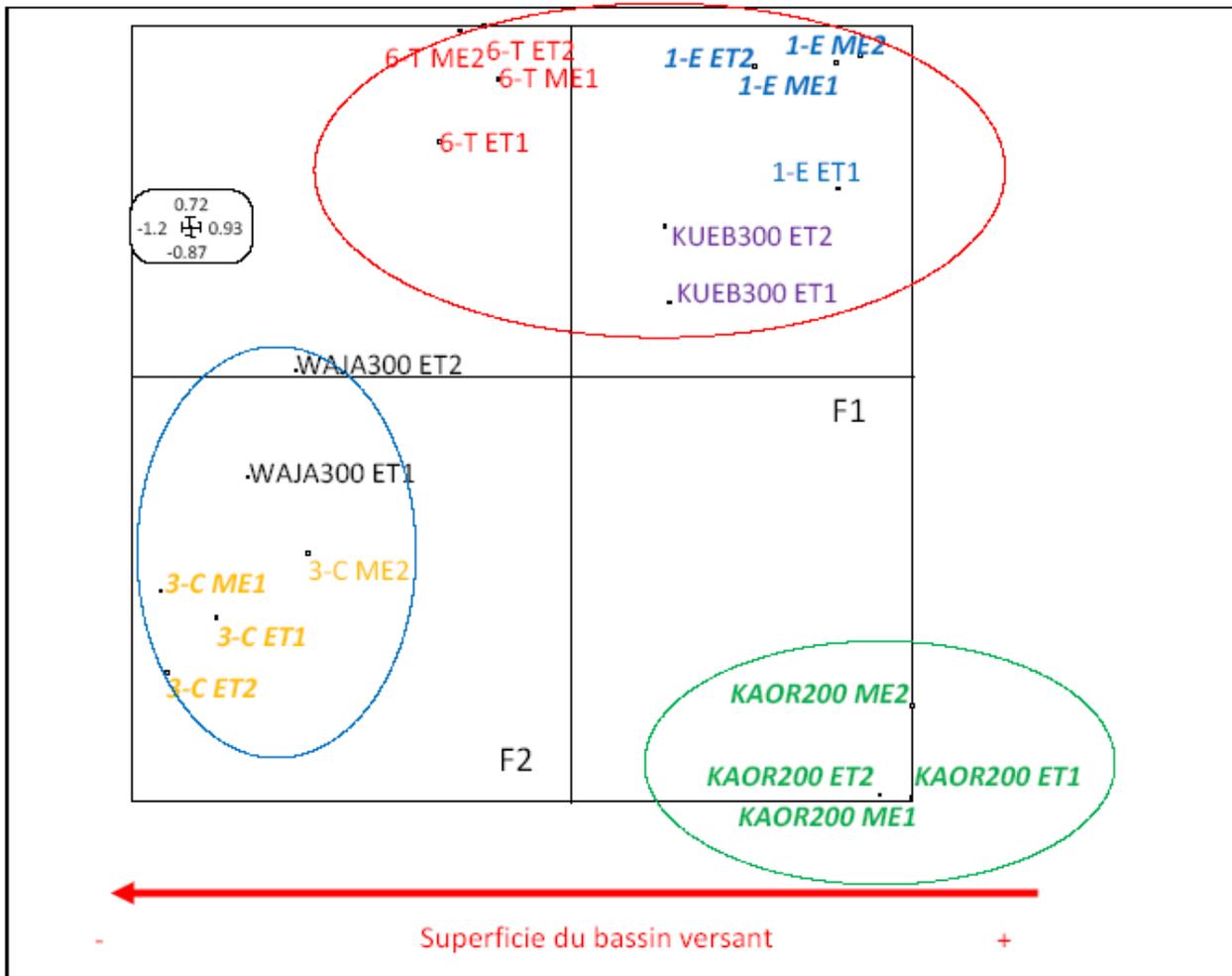
Figure 2.1 Résultats de l'ACM réalisée sur les données mésologiques des 20 observations (16 variables). Graphe des valeurs propres.

Les observations, ainsi que les modalités de chaque paramètre ont été projetées sur le plan factoriel F1xF2 de l'analyse (figures 2.2 et 2.3).

L'annexe 1 contient les éléments d'interprétation de l'ACM. Figurent les rapports de corrélation (variant de 0 à 1) entre les variables et les deux axes principaux de l'analyse F1 et F2. Les variables les plus structurantes de l'analyse sont celles dont le rapport de corrélation est le plus proche de 1. Elles apparaissent en **gras** dans le tableau. Figurent également les contributions absolues des observations à la formation des axes F1 et F2 (c'est-à-dire leur importance respective dans la construction des axes).

Les paramètres qui structurent l'axe factoriel F1 sont principalement le pourcentage de couverture par la végétation riveraine, l'ombrage du cours d'eau, le pourcentage de dépôts latéritiques sur le substrat, ainsi que les caractéristiques hydro-morphométriques de la rivière : pente, largeurs du lit mouillé et du lit mineur, ordre de drainage du cours d'eau à la station. L'axe F2 est principalement déterminé par le type de végétation des rives et la granulométrie du lit de la rivière (pourcentage de cailloux/galets). Enfin, la végétation environnant la station et la superficie du bassin versant à la station contribuent de façon importante à la formation des axes F1 et F2.

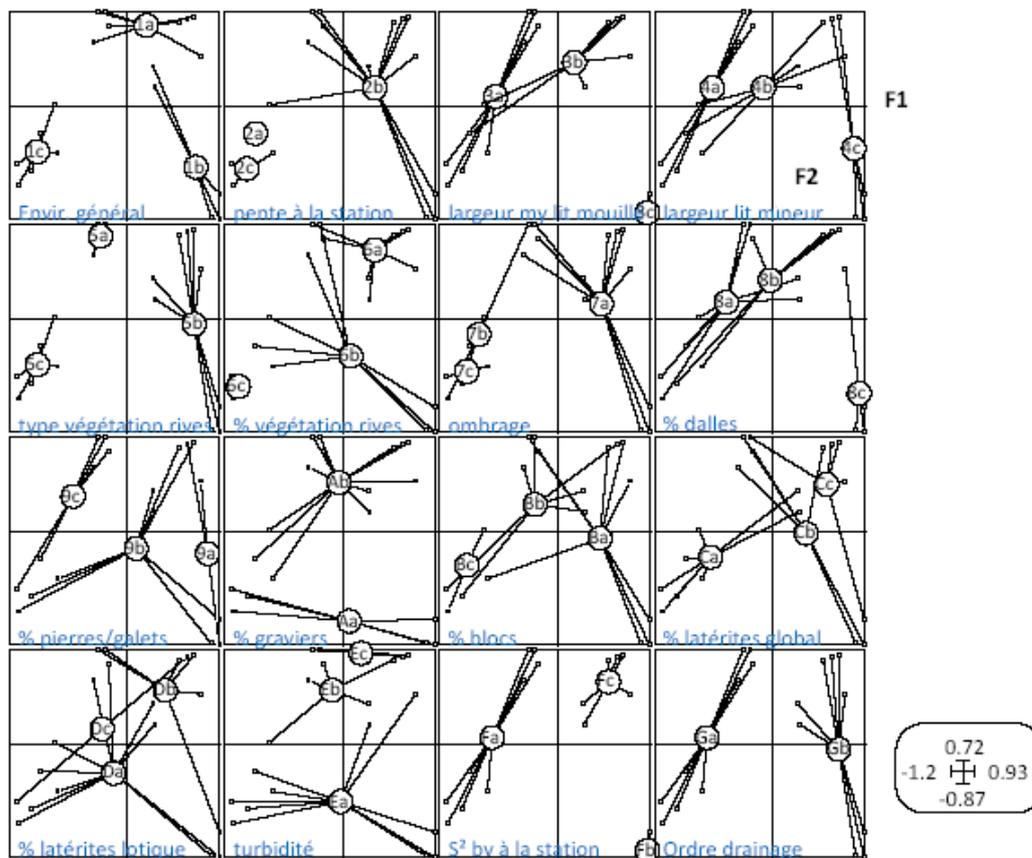
Les observations les plus contributives à la constitution des premiers axes factoriels sont indiquées en italique et en gras sur la figure 2.2. Il s'agit de Trou Bleu 3-C pour F1 et de Kwë 1-E pour F2. La station Kaoris KAOR200 contribue fortement à la formation des deux axes (cf annexe 1).



ET1 : étiage année 1 ; ME1 : moyennes eaux année 1 ; ET2 : étiage année 2 ; ME2 : moyennes eaux année 2

Figure 2.2 Résultats de l'ACM réalisée sur les données mésologiques des 20 observations collectées par Hytec (16 variables). Position relative des observations sur le plan factoriel F1xF2. Les observations les plus contributives à la constitution des 2 premiers axes sont en italique et en gras sur la figure.

Les caractéristiques mésologiques des stations présentent peu de variabilité temporelle. Pour chaque station, les observations correspondant aux différentes dates sont relativement proches sur le graphique.



Paramètre	Modalité	a	b	c
Environnement général à la station		Maquis minier arbustif	Maquis minier arboré	Forêt primaire
Pente à la station		faible	moyenne	forte
Largeur moyenne du lit mouillé (m)		<10	10 à 29	> 29
Largeur du lit mineur (m)		< 10	10 à 30	> 30
Couverture par la végétation rives (%)		0 ≤ ≤ 40	41 ≤ ≤ 80	> 80
Végétation des rives		herbacées, savane, forêt secondarisée	maquis minier arbustif	forêt primaire
Ombrage du cours d'eau (%)		0	1 ≤ ≤ 40	> 40
Roche mère / dalles (%)		0 ≤ < 40	40 ≤ ≤ 70	> 70
Blocs (%)		0 ≤ <40	40 ≤ ≤ 60	> 60
Galets / cailloux (%)		0	1 ≤ ≤ 10	> 10
Graviers / sables (%)		0 ≤ ≤ 4	> 4	
Recouvrement par les latérites globalement (%)		0 ≤ ≤ 50	51 ≤ ≤ 80	> 80
Recouvrement par les latérites en milieu lotique (%)		0	1 ≤ ≤ 80	> 80
Turbidité (NTU)		< 0,6	0,6 ≤ ≤ 2	> 2
Superficie du bassin versant au droit de la station (ha)		< 1000	1000 ≤ ≤ 3000	> 3000
Ordre de drainage à la station		≤ 5	> 5	Pas de valeur

Figure 2.3 ACM réalisée sur les données mésologiques des 20 observations (16 variables). Position relative des observations et des modalités sur le plan factoriel F1xF2. Pour chaque variable, les 20 observations sont représentées par de petits carrés sur le plan factoriel F1 X F2.

La figure 2.3 présente pour chaque paramètre la position moyenne des modalités correspondantes sur le plan factoriel F1x F2. Les 20 observations ont également été projetées sur le premier plan factoriel (elles sont représentées par de petits carrés).

Plusieurs groupes d'observations peuvent être identifiés :

- Les stations Wajana WAJA300 et Trou Bleu 3-C, situées dans un environnement préservé (forêt primaire) et bien ombragées. Leur substrat est faiblement colmaté (faible pourcentage de latérites en milieu lotique ou lentique). Les bassins versants des deux cours d'eau sont de petite superficie. Les stations présentent des caractéristiques physico-chimiques similaires (conductivité, turbidité, teneurs en oxygène dissous, pH du même ordre de grandeur) ;
- Les stations Kwë 1-E, Kuébini KUEB300 et Creek Baie Nord 6-T, en maquis minier, non ombragées, avec parfois une eau légèrement turbide et dont les fonds peuvent être colmatés (en particulier dans Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T). Au sein de ce groupe, Creek Baie Nord 6-T se distingue par un lit mouillé et un lit mineur de faibles largeurs (inférieures à 6 mètres) et une petite superficie du bassin versant au droit de la station (moins de 800 ha). En revanche, les bassins versants de la Kwë et de Kuébini ont des superficies 4 à 5 fois supérieures et les lits mouillés et mineurs aux stations Kwë 1-E et Kuébini KUEB300 sont larges (largeur moyenne du lit mouillé comprise entre 10 et 20 mètres ; largeur du lit mineur comprise entre 25 et 40 mètres).
- La station Kaoris KAOR200, de largeur importante (50 m environ pour le lit mineur et 30 m pour le lit mouillé). Non ombragée et située également en maquis minier, cette station présente des fonds fortement colmatés (pourcentage de latérites important). La taille du bassin versant du Ruisseau des Kaoris est intermédiaire.

II.2.2. Comparaison des stations impactées avec leurs références respectives sur la base des paramètres mésologiques recueillis

* Creek Baie Nord 6-T et Kaoris KAOR200

Le tableau 2.3 compare les caractéristiques mésologiques de Creek Baie Nord 6-T et Kaoris KAOR200.

Tableau 2.3 Comparaison mésologique entre Creek Baie Nord 6-T et Kaoris KAOR200

Station	Creek Baie Nord 6-T	Kaoris KAOR200
Paramètres comparables		
Environnement général	maquis minier,	
Pente à la station	moyenne,	
Position altitudinale	cours inférieur de la rivière	
Ombrage du cours d'eau	nul	
Pourcentage de dépôts latéritiques dans la station	60 à 90%	
Pourcentage de dépôts latéritiques dans les zones lenticues	100%	
Quantité de matière organique d'origine végétale (feuilles, branches, ...)	faible	
Différences observées		
Largeur moyenne du lit mouillé (m)	≤ 5	30
Largeur du lit mineur (m)	< 10	50
Granulométrie dominante dans la station	Blocs, cailloux, galets, graviers	Roche-mère, dalles
Turbidité (NTU)	2 à 5 NTU	<1
Superficie du bassin versant à la station (ha)	757	1 399

Les différences mésologiques observées entre les stations Creek Baie Nord 6-T et Kaoris KAOR200 se situent principalement au niveau de l'importance des lits mouillé et mineur et de la superficie du bassin versant au droit de la station (celle-ci est deux fois plus importante sur Kaoris KAOR200 que sur Creek

Baie Nord 6-T) (cf tableau 2.3). De plus, le substrat du cours d'eau au niveau de Kaoris KAOR200 est constitué principalement de roche-mère et de dalles, support peu favorable au développement de la faune benthique.

* **Kwë 1-E / Trou Bleu 3-C**

Peu de paramètres mésologiques sont comparables entre Kwë 1-E et Trou Bleu 3-C. Le substrat diffère entre cuirasse sur Trou Bleu 3-C et péridotite sur Kwë 1-E.

On observe de nombreuses différences mésologiques entre les 2 stations, tant au niveau des paramètres morphométriques (largeurs du lit mouillé et du lit mineur, superficie des bassins versants, ordre de drainage au droit de la station) que des conditions environnementales à la station (type de végétation des rives, pourcentage de recouvrement par la végétation riveraine, ombrage du cours d'eau) (cf tableau 2.4).

Tableau 2.4 Comparaison mésologique entre Kwë 1-E et Trou Bleu 3-C

Paramètre	Station	Kwë 1-E	Trou Bleu 3-C
Paramètres comparables			
Position altitudinale des stations		cours inférieur de la rivière	
Quantité de matière organique d'origine végétale (feuilles, branches, ...)		faible	
Différences observées			
Environnement général		maquis minier, forêt du Sud	Forêt primaire sur sol minier
Pente à la station		moyenne	forte
Largeur moyenne du lit mouillé à la station (m)		10 à 20	3 à 4
Largeur du lit mineur (m)		30 à 40	<10
Pourcentage de végétation des rives		≤ 30	80 à 100%
Ombrage		nul	40 à 90%
Pourcentage de dépôts latéritiques dans la station		70 à 90%	10%
Pourcentage de dépôts latéritiques dans les zones lotiques		40 à 90%	nul en général
Turbidité (NTU)		0,4 à 5	<0,1
Superficie du bassin versant à la station (ha)		3 456	713
Ordre de drainage du cours d'eau à la station		6	5

En grisé les caractéristiques similaires entre Kwë 1-E et Kuébini KUEB300.

Une comparaison des données collectées avec celles de Kuébini KUEB300 (en grisé dans le tableau) montre que cette dernière est plus proche de Kwë 1-E que de Trou Bleu 3-C d'un point de vue mésologique.

Conclusions :

L'analyse des données mésologique met en évidence une typologie des stations fondée sur leurs caractéristiques mésologiques. Les paramètres déterminants sont la superficie du bassin versant au droit de la station, la pente moyenne du cours d'eau à la station, la végétation des berges qui conditionne l'ombrage du cours d'eau, les largeurs du lit mouillé et du lit mineur, la présence de granulats fins (graviers et latérites).

Trois groupes de stations se différencient :

- **Wajana WAJA300 et Trou Bleu 3-C, en environnement préservé (forêt primaire), ombragées, avec un lit faiblement colmaté par les fines latéritiques et une faible superficie au droit de la station ;**
- **Kwë 1-E, Kuébini KUEB300 et Creek Baie Nord 6-T, en maquis minier, non ombragées, avec un lit colmaté par les fines latéritiques. Les 2 premières ont des lits mouillés et mineurs larges et appartiennent à de grands bassins versant. Creek Baie Nord 6-T présente une faible largeur et une petite superficie du bassin versant au droit de la station.**
- **Kaoris KAOR200, en maquis minier, non ombragée, avec un lit fortement colmaté par les fines latéritiques, de largeur importante et avec une taille du bassin versant moyenne.**

Les résultats montrent également que :

- **les caractéristiques mésologiques des stations présentent peu de variabilité temporelle ;**
- **les stations impactées (Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T) se différencient bien d'un point de vue mésologique des stations de référence Kaoris KAOR200, Trou Bleu 3-C et Wajana WAJA300 ;**
- **les caractéristiques mésologiques de Kwë 1-E sont comparables à celles de Kuébini KUEB300. Il semblerait donc plus cohérent, à l'issue de cette première analyse, que Kuébini KUEB300 soit la station de référence de Kwë 1-E, plutôt que Trou Bleu 3-C dont le bassin versant de petite taille avec un cours d'eau très peu ramifié, limite le choix d'une station de référence à la seule station Trou Bleu 3-C située à l'embouchure. Il est également possible d'associer à Kwë 1-E une autre station de référence avec des caractéristiques mésologiques similaires (lits mouillé et mineur relativement larges, taille de bassin versant à la station et ordre de drainage comparables). Cette station de référence pourrait se situer dans le même cours d'eau dans la mesure où elle est exempte de perturbation anthropique majeure. A noter cependant que pour Lascombe (2011), la Kuébini doit être considérée avec prudence comme rivière de référence étant donné que certaines études ont montré qu'elle était pauvre en termes de biodiversité (10 espèces de poissons dont une seule endémique) et de biomasse, avec une instabilité des peuplements piscicoles (cf ERBIO, 2010). De plus, les limites à trente ans du gisement de Vale NC, peuvent laisser craindre à terme des conséquences hydrogéologiques de l'excavation minière sur ce bassin adjacent au plateau de Goro (Lascombe, 2011).**
- **les caractéristiques morphométriques de Kaoris KAOR200 sont relativement différentes de celles de Creek Baie Nord 6-T (largeurs du lit mouillé et du lit mineur au moins 5 fois plus élevées à la station Kaoris KAOR200 ; granulométrie du fond de la rivière relativement homogène à Kaoris KAOR200, constituée principalement de roche-mère et de dalles). De plus, la station Kaoris KAOR200 présente des fonds fortement colmatés, ce qui indique qu'elle subit des perturbations de type sédimentaire non négligeables, liées à la présence de nombreuses pistes et anciennes carrières d'exploitation minière. Ces éléments remettent également en question le choix de cette station de référence pour Creek Baie Nord 6-T. Il serait plus opportun de trouver un cours d'eau de référence de plus petite superficie, ou de considérer éventuellement une station dans un sous-bassin versant du Ruisseau des Kaoris, présentant une superficie de bassin versant à la station équivalente à celle de Creek Baie Nord 6-T, ainsi que des conditions morphométriques comparables et des fonds peu colmatés.**

Synthèse : Principales caractéristiques mésologiques des stations suivies

Stations impactées (catégorie 1)

* Creek Baie Nord 6-T : en maquis minier, non ombragée ; fonds fortement colmatés (en milieux lotique et lentique) ; petite superficie du bassin versant au droit de la station (750 ha) ; lit mouillé et lit mineur de faibles largeurs (inférieures à 6 mètres).

* Kwë 1-E : en maquis minier, non ombragée ; fonds fortement colmatés en milieu lotique ou lentique. Superficie du bassin versant au droit de la station relativement importante (3 500 ha), lits mouillés et mineurs larges (largeur moyenne du lit mouillé comprise entre 10 et 20 mètres ; largeur du lit mineur comprise entre 30 et 40 mètres).

Stations de référence (catégorie 3)

* Kaoris KAOR200 : non ombragée et en maquis minier ; fonds fortement colmatés (pourcentage de latérites important) ; de largeur importante (50 m environ pour le lit mineur et 30 m pour le lit mouillé). Superficie au droit de la station moyenne (1400 ha).

* Trou Bleu 3-C : dans un environnement préservé (forêt primaire sur sol minier), lit de la rivière bien ombragé, substrat faiblement colmaté. Petite superficie de bassin versant au droit de la station (700 ha).

* Wajana WAJA300 : dans un environnement préservé (forêt primaire sur sol minier), lit de la rivière bien ombragé, substrat faiblement colmaté (faible pourcentage de latérites en milieu lotique ou lentique). Petite superficie de bassin versant au droit de la station (500 ha).

* Kuébini KUEB300 : en maquis minier, non ombragée ; fonds moyennement colmatés. Superficie du bassin versant au droit de la station relativement importante (3 750 ha), lits mouillés et mineurs larges (largeur moyenne du lit mouillé comprise entre 10 et 20 mètres ; largeur du lit mineur de 25 environ).

Chapitre IV - Analyse des données physico-chimiques de l'eau

IV.1. Méthodologie

L'analyse des données physico-chimiques de l'eau permet de mettre en évidence l'évolution spatio-temporelle de la qualité des eaux et de poursuivre la réflexion sur le choix des stations de référence suivies dans le cadre de cette étude.

III.1.1. Les données physico-chimiques considérées

Les données physico-chimiques de l'eau considérées dans cette analyse sont celles collectées par Hytec, ainsi que par Vale NC.

IV.1.1.a. Données collectées par Hytec

Les observations d'Hytec sont synthétisées dans le tableau 3.1. Le détail figure dans Hytec & Mary (2014). Ainsi, en complément des prélèvements d'eau effectués dans les 6 stations d'étude pour analyse (20 observations), ont été réalisés :

- 4 duplicata respectivement sur Kwë 1-E en juin 2013, Creek Baie Nord 6-T en novembre 2011 et juin 2012, et Kuébini KUEB300 en décembre 2012,
- 2 blancs de terrain en décembre 2012 et juin 2013.

Tableau 3.1. Prélèvements d'eau réalisés par Hytec durant la présente étude en vue d'analyses physico-chimiques (cf Hytec & Mary, 2014). La nomenclature des observations choisie pour le traitement statistiques des données physico-chimiques est précisée.

Rivière	Station	Novembre 2011 (ET1)	Juin 2012 (ME1)	Décembre 2012 (ET2)	Juin 2013 (ME2)
Kwë	1-E	1-E ET1	1-E ME1	1-E ET2	1-E ME2
Kwë	1-E dupli	np	np	np	1-ED ME2
Trou Bleu	3-C	3-C ET1	3-C ME1	3-C ET2	3-C ME2
Creek Baie Nord	6-T	6-T ET1	6-T ME1	6-T ET2	6-T ME2
Creek Baie Nord	6-T dupli	6-TD ET1	6-TD ME1	np	np
Kaoris	KAOR200	KAOR200 ET1	KAOR200 ME1	KAOR200 ET2	KAOR200 ME2
Kuébini	KUEB300	KUEB300 ET1	np (1)	KUEB300 ET2	np (1)
Kuébini	KUEB300 dupli	np	np	KUEB300D ET2	np
Wajana	WAJA300	WAJA300 ET1	np (1)	WAJA300 ET2	np (1)
Blanc		np	np		
Total		7	5	8	6

En grisé, les prélèvements réalisés.

ET1 : étiage année 1 ; ME1 : moyennes eaux année 1 ; ET2 : étiage année 2 ; ME2 : moyennes eaux année 2
np : non prélevé

(1) Il n'y a pas eu de prélèvement durant les périodes de moyennes eaux (juin 2012 et 2013) dans les stations Wajana WAJA300 et Kuébini KUEB300, le budget disponible pour les analyses ayant été alloué aux stations au centre de la problématique environnementale de Vale NC (Hytec & Mary, 2014).

Remarque : Les résultats relatifs aux blancs de terrain apportant trop d'hétérogénéité dans le jeu de données, ils n'ont donc pas été considérés dans les analyses statistiques multivariées. En effet, les caractéristiques physico-chimiques de l'eau déminéralisée utilisée pour le blanc de terrain sont très différentes de celles des eaux de rivières (au niveau des teneurs en ions majeurs par exemple). Les 2 types d'eau ne peuvent donc pas être comparés.

Les observations d'Hytec retenues pour l'analyse statistique des données physico-chimiques de l'eau sont au nombre de 24. Elles correspondent à l'ensemble des prélèvements effectués (duplicata inclus), à l'exception des blancs de terrain.

Paramètres analysés

À chaque station d'étude, divers paramètres physico-chimiques permettant de définir la qualité de l'eau ont été relevés *in situ* à l'aide d'appareils de terrain. Ces paramètres sont :

- la turbidité ;
- la température ;
- la conductivité ;
- le pH ;
- la concentration en oxygène dissous (pourcentage de saturation et teneur en mg/l).

Les appareils utilisés, leur gamme de mesures possible et leur niveau de précision, ainsi que les modalités de leur contrôle sont précisés dans Hytec & Mary (2014).

De plus, deux grands types d'analyses ont été effectués sur les échantillons d'eau à la demande d'Hytec :

- Pour les stations Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T, une **analyse physico-chimique dite « complète »**. Elle comprend 70 paramètres pour les étiages 2011 et 2012 et 57 paramètres en moyennes eaux 2012 et 2013 (cf tableau 3.2 et Hytec & Mary, 2014).

En effet, lors des campagnes de moyennes eaux, certains paramètres physico-chimiques n'ont pas été analysés par rapport aux campagnes d'étiage. Il s'agit de COT, TA, TAC, dureté totale, composés organiques volatiles COV peu susceptibles d'être présents du fait d'un brassage plus important des eaux en moyennes eaux, d'autant plus qu'ils n'avaient pas été détectés en étiage. De même, pour le platine et le vanadium non détectés à l'étiage, ainsi que pour 3 paramètres non analysés par Vale NC : le tellure, le thallium et le titane (Hytec & Mary, 2014).

- Pour les 2 stations de référence Trou Bleu 3-C et Kaoris KAOR200 et pour les 2 stations « AEP », Kuébini KUEB300 et Wajana WAJA300, la liste des paramètres analysés a été allégée : l'**analyse dite « réduite »** englobe 53 paramètres aux étiages 2011 et 2012 et 50 paramètres en moyennes eaux 2012 et 2013.

La liste de l'ensemble des paramètres analysés figure dans Hytec & Mary (2014). La majorité des analyses physico-chimiques a été réalisée par la Calédonienne des Eaux (CDE). Celle-ci a sollicité le laboratoire Eurofins IPL Est (accréditation N°1-1488) en Métropole pour l'analyse des COV, BTEX (benzène et ses dérivés), titane, PCB et pesticides (cf Hytec & Mary, 2014).

IV.1.1.b. Données collectées par Vale NC

Les données de Vale NC considérées dans le cadre de ce travail sont celles qui ont été collectées les mêmes jours que Hytec et qui restent donc comparables à ces dernières. Il s'agit des données se rapportant aux 3 stations Trou Bleu 3-C, Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T dont les échantillons d'eau ont été prélevés le 21 novembre 2011, les 17 et 20 juin 2012, le 11 décembre 2012 et le 4 et 7 juin 2013, soit **12 observations au total** (à noter que Creek Baie Nord 6-T a été échantillonnée le 07 juin 2013 par Vale NC et le 06 juin 2013 par Hytec et Aqua Terra). La nomenclature des observations de Vale NC considérées dans l'analyse statistique est précisée dans le tableau 3.2.

Toutes les analyses d'eau et de sédiments sont réalisées en interne par le laboratoire de Vale NC.

Tableau 3.2 Observations de Vale NC (VAL) considérées dans le traitement statistique des données physico-chimiques.

Rivière	Station	Novembre 2011 (ET1)	Juin 2012 (ME1)	Décembre 2012 (ET2)	Juin 2013 (ME2)
Kwë	1-E	1-E ET1 VAL	1-E ME1 VAL	1-E ET2 VAL	1-E ME2 VAL
Trou Bleu	3-C	3-C ET1 VAL	3-C ME1 VAL	3-C ET2 VAL	3-C ME2 VAL
Creek Baie Nord	6-T	6-T ET1 VAL	6-T ME1 VAL	6-T ET2 VAL	6-T ME2 VAL
Total		3	3	3	3

ET1 : étiage année 1 ; ME1 : moyennes eaux année 1 ; ET2 : étiage année 2 ; ME2 : moyennes eaux année 2

Les analyses physico-chimiques réalisées par Vale sont détaillées dans Hytec & Mary (2014). L'ensemble des analyses a été réalisée sur eau filtrée (source Vale NC). Au total 35 paramètres ont généralement été analysés, dont 14 métaux (aluminium, zinc, cuivre, fer, manganèse, soufre, arsenic, cadmium, chrome, chrome VI, cobalt, étain, nickel, plomb).

Le suivi de l'état écologique des eaux douces superficielles constitue une obligation réglementaire imposée à la société Vale NC. Le programme de suivi mis en place concerne plusieurs compartiments (eau, sédiments, macro-invertébrés benthiques notamment) (cf Hytec & Mary, 2014).

Un total de 36 observations est par conséquent disponible pour l'analyse statistique des données physico-chimiques sur l'eau : 24 observations collectées par Hytec et 12 observations collectées par Vale NC.

Pour les stations Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T, les données collectées par Hytec se rapportent à 70 paramètres pour les étiages 2011 et 2012 et 57 paramètres en moyennes eaux 2012 et 2013 (analyse complète). Pour les 4 stations Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200, Kuébini KUEB300 et Wajana WAJA300, 53 paramètres ont été analysés aux étiages 2011 et 2012 et 50 paramètres en moyennes eaux 2012 et 2013 (analyse réduite).

Les paramètres analysés aux mêmes saisons par Vale NC dans les 3 stations Kwë 1-E, Creek Baie Nord 6-T et Trou Bleu 3-C sont au nombre de 35.

III.1.2. Le traitement des données physico-chimiques

III.1.2.a. Sélection des paramètres

Le tableau 3.3 présente les paramètres écartés et ceux considérés dans l'analyse statistique.

Tableau 3.3 Paramètres écartés et considérés dans l'analyse statistique

Groupes de paramètres	Paramètres	Ecartés de l'analyse <i>* trop de valeurs manquantes et/ou ** valeurs mesurées identiques pour la majorité des relevés et inférieures à la limite de quantification</i>	Retenus pour l'analyse statistique <i>* malgré quelques valeurs manquantes ; ** données Hytec uniquement</i>
paramètres mesurés <i>in situ</i>	conductivité à 25°C		*
	oxygène dissous		*
	pH		*
	température		*
	turbidité		*
Paramètres organoleptiques	couleur		*
Paramètres physico-chimiques	aluminium (Al dissous)		**
	chlorures		*
	demande biochimique en oxygène (DBO ₅ filtrée)	*	
	demande chimique en oxygène (DCO filtrée)		**
	carbone organique total (COT) (COT dissous)	*	
	dureté totale	*	
	matières en suspension (MES)		**
	silicium (Si dissous)		*
	sodium		*
	sulfates dissous		*
	titre alcalimétrique (TA)	*	
	titre alcalimétrique complet (TAC)	*	
zinc (Zn dissous)	**		
Éléments pour le diagramme de Piper	calcium		**
	carbonates		*
	hydrogénocarbonates		*
	magnésium		*
	potassium		*
Paramètres concernant les substances indésirables	agents de surfaces réagissant au bleu de méthylène (lauryl-sulfate de sodium)/ ou agents de surface anioniques	**	
	ammonium (NH ₄ dissous)	**	
	ammoniac (NH ₃ dissous)	**	
	argent (Ag dissous)	**	
	azote Kjeldahl (NTK filtré)	**	
	azote total (N tot dissous)		*
	baryum (Ba dissous)	**	

Groupes de paramètres	Paramètres	Ecartés de l'analyse	Retenus pour l'analyse statistique
	bore (Bo dissous)	**	
	cuiivre (Cu dissous)	**	
	fer (Fe dissous)		**
	fluorures (F dissous)		*
	hydrocarbures totaux	*	
	manganèse (Mn dissous)		**
	nitrate (NO ₃)		*
	nitrite (NO ₂)	**	
Paramètres concernant les substances indésirables	phénols	**	
	phosphates (PO ₄)		**
	phosphore total (P filtré)	**	
	platine	*	
	soufre	*	
	tellure	*	
	thallium	*	
Paramètres concernant les substances toxiques	arsenic (As dissous)	**	
	antimoine (Sb dissous)	**	
	cadmium (Cd dissous)	**	
	chrome (Cr dissous)		**
	chrome VI (Cr VI dissous)	**	
	cyanures libres		*
	cobalt (Co dissous)	**	
	composés organiques halogénés	*	
	étain (étain dissous)		**
	mercure (Hg dissous)		*
	molybdène (Mo dissous)	**	
	nickel (Ni dissous)		**
	plomb (Pb dissous)	**	
	PCB : PCB28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153, PCB 180 (1)	**	
	sélénium (sélénium dissous)	**	
titane (1)	*		
vanadium	*		
BTEX	Benzène, toluène, éthyl-benzène, ortho-xylène, méta+para-xylène, ortho-méta+para-xylène	*	
composés organiques volatiles COV	Chloroforme, tétrachloroéthylène, tétrachlorure de carbone, trichloroéthylène, 1,1,1-trichloroéthane	*	
HAP	Acénaphthène, acénaphthylène, anthracène, benzo (a) anthracène, benzo (b) fluoranthène (3,4), benzo (g,h,i) perylène (1,12), benzo (k) fluoranthène (11,12), benzo (a) pyrène (3,4), chrysène, dibenzo (a,h) anthracène, fluoranthène, fluorène, indeno (1,2,3) (cd) pyrène (1), naphthalène, phénanthrène, pyrène	*	
Pesticides	Paramètres variables	*	
Pigments chlorophylliens	[Chl] (µg/l)		*
	[Pheo] (µg/l)		*
	%Pheo		
Paramètres microbiologiques	coliformes totaux	*	
	entérocoques	*	
	<i>Escherichia coli</i>	*	

Pour les 36 observations considérées (Hytec et Vale NC), certaines mesures physico-chimiques sont manquantes. Cela concerne 19 paramètres pour lesquels il n'existe pas de valeur mesurée dans plus de la moitié des observations. **Les données relatives à ces 19 paramètres ont donc été écartées de l'analyse statistique.** De même, pour de nombreux paramètres, les valeurs mesurées ont été identiques pour toutes ou pratiquement toutes les observations et, en général, inférieures à la limite de quantification (LQ). Il s'agit **de 21 paramètres, non retenus également dans l'analyse statistique**

Au final, **30 paramètres physico-chimiques ont été retenus pour l'analyse statistique multivariée** (cf tableau 3.3).

III.1.2.b. Traitements préliminaires

Préalablement aux analyses multivariées, plusieurs traitements ont été effectués :

1/ Les résultats situés en-dessous des limites de quantification (Hytec) ou de détection (Vale NC) ont été remplacés dans l'analyse par la valeur correspondant à la moitié de la limite de quantification. Par exemple, un résultat inférieur à 0,01 a été remplacé par 0,005. Le tableau 3.4 indique les valeurs substituées pour chaque paramètre considéré.

Tableau 3.4 Valeurs de substitution pour les données situées en-dessous des limites de quantification

Paramètre	Teneur indiquée dans le tableau de données brutes	Valeur substituée
DCO filtrée, cyanures libres	<5	2,5
DCO filtrée	<3	1,5
Matières en suspension (MES)	<2	1
Couleur, Matières en suspension (MES), étain dissous	<1	0,5
Calcium azote total dissous	<0,5	0,25
Carbonates, nitrates, phosphates	<0,1	0,05
Nitrates	<0,2	0,1
Turbidité, fluorures dissous	<0,01	0,005
Phosphates, mercure dissous	<0,05	0,025
Aluminium dissous, manganèse dissous	<0,001	0,0005
Aluminium dissous	<0,004	0,002

2/ Les valeurs manquantes ont été remplacées par la moyenne de la variable correspondante : pour l'analyse statistique prévue (ACP normée), cette opération est sans effet sur l'inertie totale.

3/ Les données des variables présentant une gamme de variation importante (conductivité, turbidité, couleur, aluminium dissous, hydrogénocarbonates, fer dissous, fluorures dissous, manganèse dissous, nitrates, ammonium dissous, mercure dissous, chlorophylle a, phéopigments) ont été transformées en $\ln(x)$. Cette transformation, qui permet de normaliser les données, est nécessaire pour les calculs des coefficients de corrélation de l'ACP.

III.1.2.c. Traitements statistiques

L'analyse des données physico-chimiques de l'eau a été réalisée au moyen d'une analyse en composantes principales (ACP) normée (36 observations X 30 paramètres).

III.2. Résultats

II.2.1. Analyse statistique

Les éléments d'interprétation de l'analyse (contributions des paramètres et des stations à la constitution des composantes principales, matrice de corrélation des paramètres) figurent en annexe 2.

L'étude de la matrice des corrélations montre que les paramètres chlorophylle a et phéopigments sont fortement corrélés, donc redondants. De même, la conductivité est bien corrélée aux teneurs en chlorures, sodium, magnésium et sulfates dissous, ainsi qu'aux concentrations en silicium ; le sodium présente une forte corrélation avec les chlorures et les hydrogénocarbonates, les sulfates dissous avec le potassium et les phéopigments avec les teneurs en chlorures et en sodium.

Les trois premiers facteurs F1, F2 et F3 représentent près de 53% de l'inertie totale des données (cf graphe des valeurs propres à la figure 3.1).

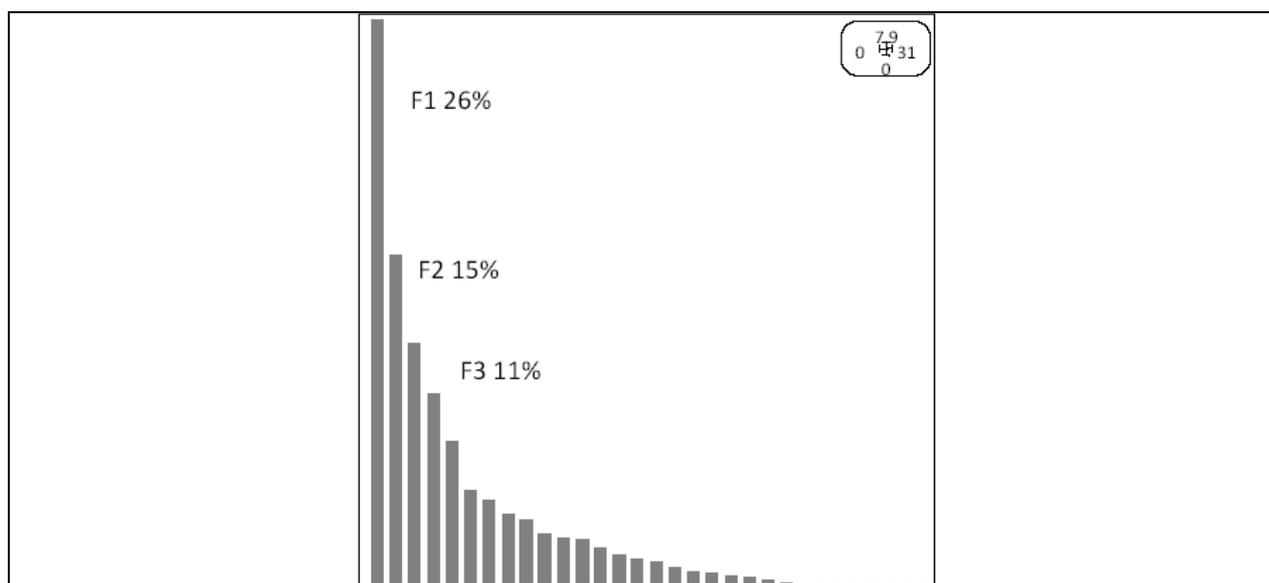


Figure 3.1 ACP normée réalisée sur le tableau de données physico-chimiques de qualité des eaux (36 observations X 30 variables). Graphe des valeurs propres.

L'axe F1 (26% d'inertie) est principalement défini par des paramètres liés à la **minéralisation des eaux** (conductivité, chlorures, calcium, silicium, sodium, hydrogénocarbonates, magnésium, potassium), ainsi qu'à leur **teneur en pigments chlorophylliens** (chlorophylle a et phéopigments). L'axe F2 (15% d'inertie) est représenté par des **paramètres mesurés in situ** (oxygène dissous, température, turbidité), par la couleur de l'eau et par les métaux aluminium et fluorures dissous. Les **sulfates dissous** contribuent à la constitution des deux axes. Les paramètres définissant l'axe F3 (11% d'inertie) sont la **turbidité**, la **demande chimique en oxygène (DCO)**, les **matières en suspension (MES)** et les **métaux dissous** suivants : fer, étain, mercure (cf cercle de corrélation des paramètres aux figures 3.2 et 3.3 et annexe 2).

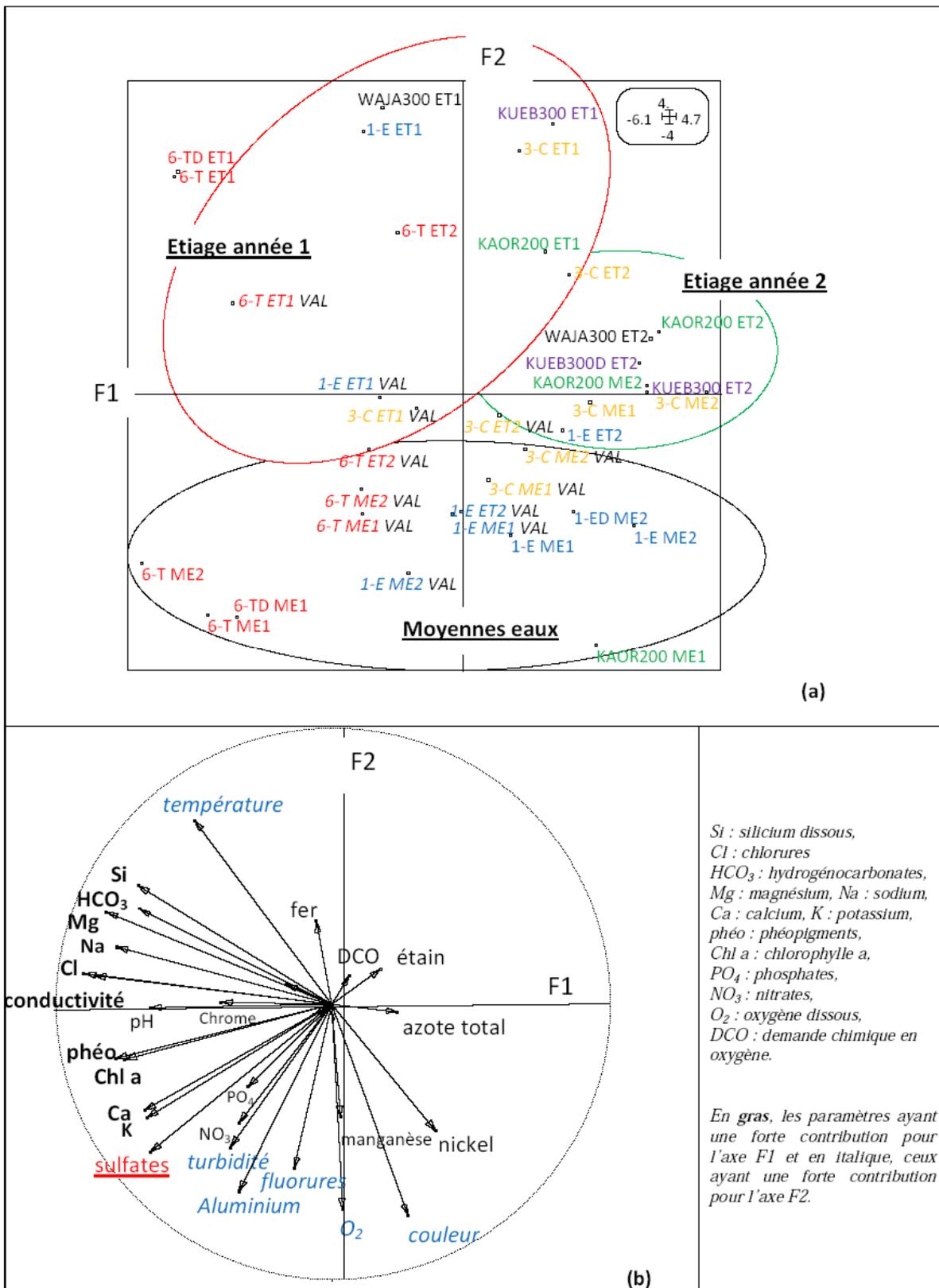


Figure 3.2 ACP normée réalisée sur le tableau de données physico-chimiques de qualité des eaux (36 observations X 30 variables). Position relative des observations (a) et cercle de corrélation des paramètres (b) sur le plan factoriel F1xF2. En italique les observations de Vale NC (terminaison VAL). Les autres observations correspondent aux données d'HYTEC. En ombré, les observations de la période de moyennes eaux.

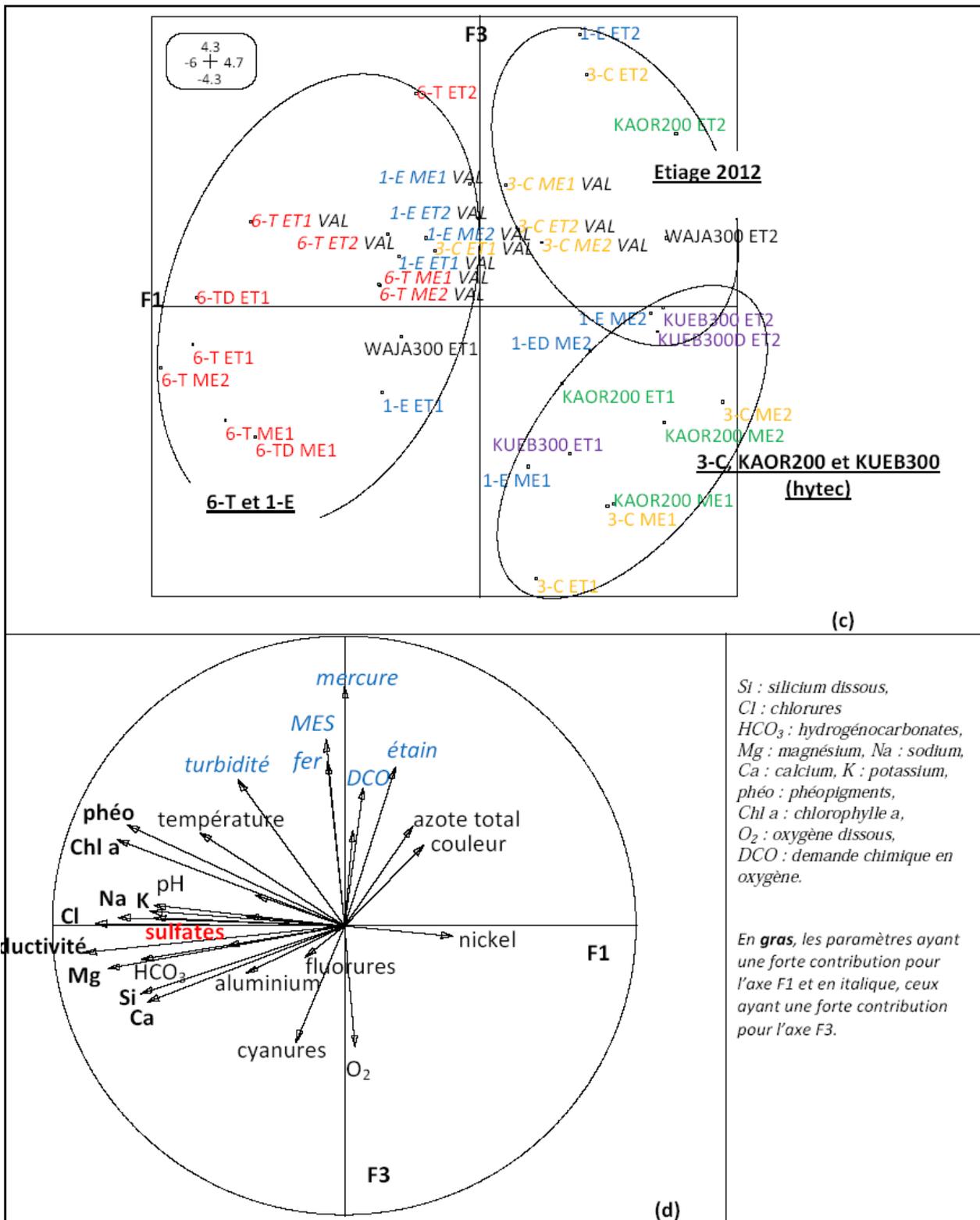


Figure 3.3 ACP normée réalisée sur le tableau de données physico-chimiques de qualité des eaux (36 observations X 30 variables). Position relative des observations (c) et cercle de corrélation des paramètres (d) sur le plan factoriel F1xF3. En italique les observations de Vale NC (terminaison VAL). Les autres observations correspondent aux données d'HYTEC. En ombré, les observations de la période de moyennes eaux.

L'axe F1 est fortement influencé par les observations de la station Creek Baie Nord 6-T (novembre 2011, juin 2012, juin 2013) et par l'observation Trou Bleu 3-C de juin 2013. La majorité des observations de novembre 2011 (Creek Baie Nord 6-T, Trou Bleu 3-C, Kwë 1-E, Wajana WAJA300 et Kuébini KUEB300), ainsi que Kaoris KAOR200 et Creek Baie Nord 6-T de juin 2012 contribuent fortement à la constitution de l'axe F2. Enfin, l'axe F3 est défini principalement par la station Trou Bleu 3-C (étiages 2011 et 2012, moyennes eaux 2012), ainsi que par Kaoris KAOR200 de juin 2012 et par les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E de décembre 2012 (cf les contributions absolues des observations à la constitution des trois premiers axes factoriels à l'annexe 2).

La projection des stations sur le plan factoriel F1XF2 (figure 3.2) souligne nettement **l'opposition, le long de l'axe F2, des observations prélevées en étiage de celles prélevées en moyennes eaux**, ce qui traduit **une variabilité temporelle de la composition physico-chimique des eaux**. Trois groupes d'observations se distinguent :

- les observations de l'étiage 2011 (année 1),
- les observations de l'étiage 2012 (année 2) (à l'exception de Creek Baie Nord 6-T), période à laquelle les cours d'eau étaient marqués par des débits importants, principalement aux stations Kwë 1-E et Kuébini KUEB300, avec des conditions hydrauliques plus proches des moyennes eaux que de l'étiage,
- les observations prélevées durant les périodes de moyennes eaux (juin 2012 et juin 2013). A ce niveau, l'ensemble des observations relatives aux stations Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T (Vale NC et Hytec) et celles de Trou Bleu 3-C prélevées par Vale NC présentent des caractéristiques physico-chimiques proches.

Cette variabilité temporelle est expliquée par plusieurs facteurs :

- les valeurs en oxygène dissous plus élevées en période de moyennes eaux qu'à l'étiage : elles sont comprises entre 8 et 8,7 mg/l en novembre 2011 et décembre 2012 alors qu'elles sont, en général, supérieures à 9 mg/l en moyennes eaux,
- la température de l'eau plus élevée à l'étiage : 23 à 26°C en général, alors qu'elle se situe entre 20 et 23°C en période de moyennes eaux,
- la couleur de l'eau très faible à l'étiage 2011 (0,5)², alors que les valeurs ont été comprises entre 1 et 6 aux autres périodes,
- la teneur en aluminium dissous dont les valeurs ont été plus faibles aux étiages 2011 et 2012 (entre 0,001 et 0,003 mg/l) et plus élevées en périodes de moyennes eaux 2012 (0,004 à 0,441 mg/l) et moyennes eaux 2013 (valeurs ≥ 0,004 mg/l),
- les fluorures dissous dont les teneurs sont inférieures à 0,01 mg/l en étiage 2011 et 2012 ainsi qu'en moyennes eaux 2013, alors que les valeurs mesurées ont été plus élevées en moyennes eaux 2012 (0,01 à 0,057 mg/l).

De même, l'axe F1 **individualise les observations de Creek Baie Nord 6-T, plusieurs observations de Kwë 1-E et Wajana WAJA300 de l'étiage 2011 des autres observations**. Cette variabilité spatiale s'explique par les données suivantes :

- une conductivité comprise entre 120 et 150 µS/cm à la station Creek Baie Nord 6-T alors qu'elle se situe entre 70 et 120 µS/cm dans les autres stations (mesure réalisée *in situ*),

² Ces faibles valeurs de la couleur restent difficilement explicables.

- des teneurs en chlorures comprises entre 13 et 15 mg/l pour Creek Baie Nord 6-T et entre 8 et 11 mg/l pour les autres stations,
- des teneurs en silicium dissous comprises entre 6 et 8 mg/l pour Creek Baie Nord 6-T et Kwè 1-E à l'étiage 2011 alors qu'elles se situent entre 3 et 5 mg/l dans les autres observations,
- des concentrations en sodium comprises entre 7 et 8 mg/l pour Creek Baie Nord 6-T et entre 4,5 et 6 mg/l pour les autres observations,
- des teneurs en sulfates dissous comprises entre 5 et 12 mg/l pour l'ensemble des observations de Creek Baie Nord 6-T et de Kwè 1-E alors qu'elles sont réellement plus faibles dans les autres stations (entre 1,2 et 2,2 mg/l),
- des concentrations en magnésium variant entre 10 et 14 mg/l sur Creek Baie Nord 6-T et Kwè 1-E à l'étiage 2011 et entre 5 et 10 mg/l dans les autres observations,
- des teneurs en potassium comprises entre 0,20 et 0,33 mg/l sur Creek Baie Nord 6-T et Kwè 1-E à l'étiage 2011 et entre 0,10 et 0,20 mg/l dans les autres observations,
- des teneurs en calcium variant entre 1 et 2,4 mg/l sur Creek Baie Nord 6-T et légèrement inférieures dans les autres observations (0,2 à 1,4 mg/l),
- des concentrations en chlorophylle a comprises entre 0,7 et 2,5 µg/l pour Creek Baie Nord 6-T et inférieures à 0,2 µg/l dans les autres observations sauf Trou Bleu 3-C de décembre 2012 (1,58 µg/l),
- des teneurs en phéopigments comprises entre 0,4 et 1,2 µg/l pour Creek Baie Nord 6-T et inférieures à 0,07 µg/l dans les autres observations, sauf Trou Bleu 3-C de décembre 2012 (0,650 µg/l).

L'axe F3 souligne la particularité de l'étiage 2012 (campagne réalisée les 10 et 11 décembre) où les teneurs en DCO, MES, fer, mercure, étain dissous et les valeurs de turbidité ont été plus élevées pour plusieurs stations :

- DCO : 8 et 6,9 mg/l respectivement pour les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwè 1-E ; 3,9 mg/l pour Trou Bleu 3-C, 6,5 mg/l pour Kuébini KUEB300 et 8,8 mg/l pour Wajana WAJA300. Toutes ces concentrations restent supérieures aux valeurs mesurées aux autres saisons (en général inférieures à la LQ de 3 ou 5 mg/l).
- turbidité : 2,4 et 5,7 mg/l respectivement pour les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwè 1-E (les teneurs dans les stations de référence sont inférieures ou égales à 1 mg/l).
- MES : 8 et 7 mg/l pour les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwè 1-E (les concentrations dans les stations de référence sont de l'ordre de 1 mg/l).
- fer dissous : teneur particulièrement élevée pour Kaoris KAOR200 (0,086 mg/l),
- mercure dissous : 0,4 µg/l pour Trou Bleu 3-C, 1,5 µg/l pour Kaoris KAOR200 et 1,1 µg/l pour Creek Baie Nord 6-T. Pour l'ensemble des autres observations (aux autres saisons), les teneurs mesurées ont été inférieures à 0,05 µg/l.
- étain dissous : 2 µg/l pour Trou Bleu 3-C et Kaoris KAOR200, 1 µg/l pour Creek Baie Nord 6-T alors que pour toutes les autres observations, les teneurs mesurées ont été inférieures à 1 µg/l.

De même, les teneurs en chlorophylle a et en phéopigments ont été relativement élevées à cette période pour Trou Bleu 3-C (respectivement 1,58 et 0,650 µg/l).

La figure 3.3 montre également que **les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwè 1-E à l'étiage 2011 se différencient bien des stations de référence Kaoris KAOR200, Trou Bleu 3-C et Kuébini KUEB300 (données d'Hytec) d'un point de vue physico-chimique**. En effet, les stations impactées sont plus minéralisées que les stations de référence. En revanche, l'ensemble des observations de Vale NC (Trou Bleu 3-C, Kwè 1-E et Creek Baie Nord 6-T) se discriminent faiblement d'un point de vue physico-chimique : elles sont regroupées au centre du graphique.

Enfin, tous les duplicata réalisés (Creek Baie Nord 6-T à l'étiage 2011 et moyennes eaux 2012, Kuébini KUEB300 à l'étiage 2012, Kwë 1-E en moyennes eaux 2013) ont des positions proches sur les graphiques, ce qui confirme que le contrôle qualité effectué a été satisfaisant.

L'analyse statistique des données de physico-chimie des eaux montre :

- **une variabilité temporelle de la qualité des eaux des rivières** : elles sont plus chaudes et moins oxygénées à l'étiage qu'en période de moyennes eaux. De plus, les teneurs en aluminium et fluorures dissous sont en général plus élevées en période de moyennes eaux ;
- **une variabilité spatiale de la qualité des eaux des rivières étudiées** : la station Creek Baie Nord 6-T se distingue par des eaux plus minéralisées (conductivité, teneurs en ions majeurs et silicium plus élevées) et des concentrations en pigments chlorophylliens plus importantes ;
- **que les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E se différencient des stations de référence Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200, Kuébini KUEB300 et Wajana WAJA300 par des teneurs en sulfates dissous (SO₄) beaucoup plus importantes, ainsi que des concentrations en magnésium (Mg) et potassium (K) plus élevées ;**
- **La particularité de l'étiage 2012, marqué par des débits importants et des pluies régulières, au cours duquel des teneurs plus élevées en DCO, MES, turbidité et certains métaux lourds dissous (étain, fer, mercure) ont été mesurées, en particulier dans les stations impactées ;**
- **que l'analyse statistique discrimine peu les observations de Vale NC pour les 3 stations Creek Baie Nord 6-T, Trou Bleu 3-C et Kwë 1-E en raison de valeurs manquantes et du fait que la limite de détection des analyses de Vale NC est trop élevée, ce qui conduit à une homogénéité des données ;**
- **un contrôle qualité satisfaisant** (cf Hytec & Mary, 2014 pour le détail).

Remarques :

Le rapport d'expertise de Lascombe (2011) met également l'accent sur une conductivité et des concentrations en certains ions (calcium Ca, chlorures Cl, magnésium Mg, sodium Na, sulfates dissous SO₄, silicium Si) « légèrement supérieures » en 2009 dans le Creek Baie Nord à la station 6Q, en tête de bassin. Ceci est attribué « à la proximité de la source et à la nature des terrains traversés ».

Selon Lascombe (2011), « le déversement accidentel d'acide suivi des opérations de neutralisation par apport de calcaire, la mise en place du traitement de la légionnelle par Prony Energies et les débordements du bassin de lagunage de la station d'épuration de la base-vie » seraient également à considérer dans l'interprétation des résultats de 2009. Le rapport insiste « sur la persistance au premier semestre 2010 de fortes concentrations en Ca, soufre S et SO₄ au point 6R (doline proche du bras sud du creek, affectée par les rejets de l'usine pilote) et l'augmentation de Ca au point 6Q, attribuée aux effets résiduels du déversement de calcaire intervenu lors de la pollution acide de 2009 ».

De même, pour la Kwë, Lascombe (2011) précise que « les deux affluents sur la Kwé Nord et la Kwé Ouest ont des caractéristiques particulières avec, depuis 2008, de fortes variations récurrentes de concentrations pour plusieurs éléments majeurs : manganèse Mn, Cl, Mg, SO₄, S, ces deux derniers

paramètres présentant les valeurs maximales de l'ensemble du bassin ». Les deux sources WK17 et WK20 localisées « à l'aval immédiat du stockage de résidus de la Kwé Ouest et suivies depuis 2008 présentent des variations de conductivité plus ou moins expliquées et en augmentation en 2010, générée par divers éléments : Cl, Mg, NO₃, SO₄, S. Un rapprochement est à faire avec les données sur l'eau du bassin de stockage, où l'on observe en 2009, année de commencement d'apports de résidus lors des tests de mise en route de l'usine, une augmentation régulière de la conductivité et des sulfates qui passent respectivement de 87 à 600 µS/cm et de 18 à plus de 250 mg/l d'avril à décembre » (Lascombe, 2011).

Dans son travail de doctorat, Mary (1999) avait réalisé une synthèse de données physico-chimiques sur près de 700 observations recueillies en étiage (données de la DAVAR) concernant 300 sites de rivière environ. Elle avait ainsi montré que les rivières drainant des substrats péridotitiques présentaient habituellement des teneurs en chlorures inférieures à 10 mg/l, en sulfates inférieures à 5 mg/l en SO₄, en calcium inférieures à 2 mg/l, en sodium comprises entre 3 et 5 mg/l et en potassium inférieures à 0,5 mg/l (cf tableau page suivante).

Les résultats des analyses effectuées pour Creek Baie Nord 6-T sont supérieurs à ces valeurs, en particulier pour les chlorures (13,09 à 15,7 mg/l), le sodium (7,8 à 10,3 mg/l) et les sulfates dissous (5,0 à 11,8 mg/l). Ils présagent ainsi une pollution plus ou moins diffuse dont l'origine est à préciser. On retrouve également le même type de perturbation sur Kwë 1-E où des teneurs en sulfates dissous relativement élevées sont mesurées.

III.2.2. Comparaison des données Hytec et Vale NC

La comparaison des données recueillies par Hytec avec celles de Vale NC n'est pas aisée. Hytec & Mary (2014) montrent que sur 35 paramètres mesurés par Hytec et Vale NC à fréquences variables, la comparaison n'est possible que sur 15 paramètres. En effet, pour une vingtaine de paramètres, les limites de détection de Vale NC sont largement supérieures aux limites de quantification d'Hytec (cf Hytec & Mary, 2014 qui détaille ce point précis au paragraphe IV.1.7). Les données correspondantes ne peuvent donc pas être comparées.

Ainsi, onze paramètres analysés par Vale NC ont, pour la majorité des mesures, des valeurs proches de celles analysées par Hytec (CDE) (moins de 20% d'écart relatif). Il s'agit de la conductivité, l'oxygène dissous (mg/l), le pH, la température de l'eau (paramètres mesurés *in situ*), les chlorures Cl, le sodium Na, le magnésium Mg, le potassium K, le silicium Si, ainsi que le soufre S et le nickel dissous Ni. **Les mesures réalisées par les 2 opérateurs sont donc comparables pour ces 11 paramètres.**

En revanche, pour les 4 paramètres suivants, des écarts importants sont observés sur plus de la moitié des analyses (plus de 20% d'écart relatif) : la turbidité, du fait du choix d'une gamme étalon inadaptée par Vale NC, les valeurs mesurées par Vale NC étant largement supérieures à celles d'Hytec ; les nitrates ; les sulfates dissous (écarts acceptables, i.e. moins de 30% en écart relatif, pour la majorité des mesures) et le titre alcalimétrique complet (TAC) (valeurs mesurées par Vale NC supérieures d'un facteur 10 environ).

Ces résultats mettent surtout en exergue le fait que les limites de quantification des analyses physico-chimiques réalisées par Vale NC sont à réajuster pour de nombreux paramètres, celles actuellement utilisées n'étant pas assez précises. Une proposition sera effectuée en fin du rapport (cf recommandations).

Tableau 3.5 Comparaison des valeurs seuils proposées par Mary (1999) pour les cours d'eau non altérés drainant des péridotites et des valeurs relevées dans les stations impactées et de référence pour quelques paramètres

	cond à 25°C	O ₂	pH	turbidité	Al diss.	Cl	MES	Si	Si dis	Na	SO ₄	Ca	HCO ₃	Mg	K	Fer dis	NO ₃ dis	Cr dis	Ni dis	[Chl]	[Pheo]
	µS/cm	mg/l			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Valeurs seuils proposées par Mary (1999) pour les rivières drainant des péridotites																					
	100					10	5			5	5	2			0,5		1*		10 à 30*		
Valeurs relevées sur les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E (entre 8 et 11 valeurs considérées)																					
min	91	7,93	6,54	0,4	0,001	9,3	<1	4	3	4,69	2,8	0,33	13,5	4,4	0,1	0,001	0,29	5	4	0,047	0,02
max	155	9,22	8,1	5,74	0,441	15,7	8	16	8	8,2	11,8	2,4	59,6	13,89	0,33	0,049	0,84	10	15	2,499	1,21
moyenne	122	8,64	7,51	2,94	0,046	12,43	3,8	8,67	5,57	6,58	7,02	1,28	40,11	10,01	0,23	0,025	0,54	8	10	0,703	0,420
Valeurs relevées sur les stations de référence Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200, Kuebini KUEB300 et Wajana WAJA200 (entre 8 et 13 valeurs considérées)																					
min	68	7,8	6,27	<0,01	<0,001	7,86	1	2	2	4,47	1,2	0,24	17,1	4,3	0,1	0,002	0,11	1	9	0,03	0,01
max	117	9,1	7,8	1,08	0,047	12	2	17	7	6,63	2	1,41	48,7	10,49	0,2	0,086	0,63	10	16	1,582	0,65
moyenne	84	8,59	7,30	0,46	0,007	10,06	1,125	7,75	4,04	5,53	1,62	0,66	32,49	7,07	0,14	0,028	0,25	5	12	0,178	0,081

* sur eaux non filtrées

Cond : conductivité, O₂ : oxygène dissous, Al : aluminium, Cl : chlorures, Si : silicium, Na : sodium, Ca : calcium, HCO₃ : hydrogénocarbonates, Mg : magnésium, K : potassium, NO₃ : nitrates, Chl : chlorophylle a, pheo : phéopigments. Dis : dissous

Synthèse : Principales caractéristiques physico-chimiques des stations suivies (qualité de l'eau)

L'analyse statistique a mis en évidence une variabilité temporelle de la qualité des eaux des rivières : elles sont plus chaudes et moins oxygénées à l'étiage qu'en période de moyennes eaux. De plus, les teneurs en aluminium et fluorures dissous sont en général plus élevées en période de moyennes eaux. L'étiage de décembre 2012, marqué par des débits importants et des pluies régulières, montre des teneurs plus élevées en DCO, MES, turbidité et certains métaux lourds dissous (étain, fer, mercure), en particulier dans les stations impactées.

Stations impactées (catégorie 1)

Les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwè 1-E se différencient des stations de référence Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200, Kuébini KUEB300 et Wajana WAJA300 par des teneurs en sulfates dissous (SO₄) beaucoup plus importantes, ainsi que des concentrations en magnésium (Mg) et potassium (K) plus élevées.

* Creek Baie Nord 6-T : cette station se distingue des autres stations par des eaux moyennement minéralisées (conductivité comprise entre 120 et 155 µS/cm, supérieure aux autres stations) et des teneurs en ions majeurs (magnésium, potassium, sodium, chlorures), silicium, concentrations en chlorophylle a (> 0,7 µg/l) relativement élevées par rapport aux autres stations suivies, notamment les stations de référence ; mais aussi de fortes teneurs en sulfates dissous (> 5 mg/l en SO₄) ; et des teneurs en nitrates comprises entre 0,3 et 0,6 mg/l en NO₃.

* Kwè 1-E : eaux légèrement turbides (> 4 NTU) et moyennement minéralisées (conductivité de 130 µS/cm à l'étiage et de 100 µS/cm environ en moyennes eaux) ; teneurs en ions majeurs (magnésium, potassium) relativement élevées par rapport aux autres stations suivies, notamment les stations de référence ; teneurs en sulfates dissous importantes hors étiage 2011 (> 5,63 mg/l en SO₄) ; concentrations en chlorophylle a relativement faibles (comprises entre 0,05 et 0,09 µg/l) ; teneurs en nitrates comprises entre 0,4 et 1,2 mg/l en NO₃.

Stations de référence (catégorie 3)

* Kaoris KAOR200 : faible conductivité en moyennes eaux (70 à 80 µS/cm), plus forte à l'étiage (100 µS/cm environ) ; faibles teneurs en ions majeurs et en chlorophylle a (<0,05 µg/l). Eaux limpides (turbidité <1 NTU) ; teneurs en sulfates dissous SO₄ inférieures à 2 mg/l et en nitrates inférieures à 0,2 mg/l en général (sauf en juin 2012 avec 0,63 mg/l de NO₃).

* Trou Bleu 3-C : conductivité faible en moyennes eaux (70 à 80 µS/cm), moyenne en étiage (100 µS/cm environ) ; faibles teneurs en ions majeurs, en nitrates (<0,2 mg/l en NO₃), en sulfates dissous (≤2,2 mg/l en SO₄), en chlorophylle a (<0,05 µg/l) et en chrome dissous (<5 µg/l). Eaux très faiblement turbides (turbidité en général inférieure à 1 NTU).

* Wajana WAJA300 : conductivité faible en moyennes eaux (70 à 80 µS/cm), plus forte en étiage (100 µS/cm environ) ; faibles teneurs en ions majeurs, en chlorophylle a (<0,05 µg/l), en nitrates (<0,2 mg/l en NO₃), en sulfates dissous (<2 mg/l en SO₄). Eaux limpides (turbidité en général inférieure à 1 NTU).

* Kuébini KUEB300 : conductivité faible en moyennes eaux (70 à 80 µS/cm), plus importante en étiage (100 µS/cm environ) ; faibles teneurs en ions majeurs, en chlorophylle a (<0,05 µg/l), en nitrates (<0,2 mg/l en NO₃) et en sulfates dissous (<2 mg/l en SO₄). Eaux limpides (turbidité inférieure en général à 1 NTU).

Chapitre V - Analyse des données faunistiques (macrofaune benthique)

V.1. Méthodologie

IV.1.1. Les données considérées

Les données disponibles pour la macrofaune benthique sont celles recueillies par Hytec et par Aqua Terra. En complément, nous avons considéré celles collectées par le bureau d'études Ethyc'O en novembre 2012 sur les stations Trou Bleu 3-C et Kuébini KUEB300. Cette dernière station n'a pas fait l'objet de prélèvement de macrofaune benthique par Hytec ou Aqua Terra (cf tableau 4.1).

V.1.1.a. Données collectées par Hytec

Les données de benthos d'Hytec sont synthétisées dans le tableau 4.1. Elles concernent 4 stations (les 2 stations impactées et leurs stations de référence respectives) sur lesquelles **8 prélèvements unitaires ont été réalisés** (cf Hytec & Mary, 2014).

Tableau 4.1 Prélèvements de macrofaune benthique réalisés par Hytec durant la présente étude (cf Hytec & Mary, 2014). La nomenclature des observations choisie pour le traitement statistique est précisée.

Rivière	Station	Novembre 2011 (ET1)	Juin 2012 (ME1)	Décembre 2012 / janvier 2013(ET2)	Juin 2013 (ME2)
Kwë	1-E	1-E ET1	1-E ME1 (1)	1-E ET2 (2)	1-E ME2
Trou Bleu	3-C	3-C ET1	3-C ME1	3-C ET2 (2)	3-C ME2
Creek Baie Nord	6-T	6-T ET1	6-T ME1 (1)	6-T ET2 (3)	6-T ME2
Ruisseau des Kaoris	KAOR200	np	np	KAOR200 ET2 (3)	KAOR200 ME2
Total		3	3	4	4

En grisé, les prélèvements réalisés.

ET1 : étiage année 1 ; ME1 : moyennes eaux année 1 ; ET2 : étiage année 2 ; ME2 : moyennes eaux année 2
np : non prélevé

(1) les 8 prélèvements unitaires de benthos ont été mélangés sur les stations Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E à l'étiage 2011, en raison de délais trop courts pour l'échantillonnage et afin de pouvoir comparer les résultats faunistiques avec ceux d'Aqua Terra réalisés le même jour.

(2) Prélèvements réalisés en janvier 2013.

(3) Prélèvements réalisés en décembre 2012³.

³ Pour les stations Kwë 1-E et Trou Bleu 3-C, les prélèvements de benthos n'ont pas pu être réalisés en décembre 2012, du fait du débit trop important de la rivière Kwë. Ainsi, le bureau d'études Aqua Terra a annulé la campagne de prélèvement prévue au dernier moment et a effectué tous les prélèvements de benthos de la campagne d'étiage 2012 en janvier 2013, notamment ceux des stations Kwë 1-E et Trou Bleu 3-C. Ces 2 stations ont également été échantillonnées en janvier 2013 par Hytec.

V.1.1.b. Données collectées par Aqua Terra

Les données d'Aqua Terra considérées sont celles qui ont été collectées les mêmes jours que Hytec et qui sont donc comparables à ces dernières. Il s'agit des données se rapportant aux 3 stations Trou Bleu 3-C, Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T dont les échantillons de benthos ont été prélevés le 22 novembre 2011, le 20 juin 2012, le 18 janvier 2013 et les 4 et 6 juin 2013, soit **12 observations au total**.

Il convient de souligner ici que, sur chaque station, **Aqua Terra a mélangé les 5 prélèvements de benthos réalisés, ce qui va à l'encontre des recommandations de Mary & Archambault (2012a)**. En effet, le protocole d'échantillonnage réactualisé pour la mise en application des indices IBS (indice bio-sédimentaire) et IBNC (indice biotique de la Nouvelle-Calédonie), préconise d'individualiser les 5 prélèvements unitaires recueillis dans chaque station de rivière et de les traiter séparément en laboratoire. De plus, la fixation de l'échantillon réalisée au formaldéhyde, a été faite après retour au véhicule et non directement sur le terrain, ce qui va également à l'encontre des recommandations de Mary & Archambault (2012a).

La nomenclature des observations d'Aqua Terra considérée dans l'analyse statistique est précisée dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 Observations d'Aqua Terra (AT) considérées dans l'analyse statistique des données faunistiques

Rivière	Station	Novembre 2011 (ET1)	Juin 2012 (ME1)	Janvier 2013 (ET2)	Juin 2013 (ME2)
Kwë	1-E	1-E ET1 AT	1-E ME1 AT	1-E ET2 AT	1-E ME2 AT
Trou Bleu	3-C	3-C ET1 AT	3-C ME1 AT	3-C ET2 AT	3-C ME2 AT
Creek Baie Nord	6-T	6-T ET1 AT	6-T ME1 AT	6-T ET2 AT	6-T ME2 AT
Total		3	3	3	3

ET1 : étiage année 1 ; ME1 : moyennes eaux année 1 ; ET2 : étiage année 2 ; ME2 : moyennes eaux année 2

V.1.1.c. Données collectées par ETHYC'O

En novembre 2012, dans le cadre de la phase 3 d'amélioration des méthodes indicelles Indice Biotique de la Nouvelle-Calédonie (IBNC) et Indice Bio-Sédimentaire (IBS) (phase de validation), le bureau d'études Ethyc'o a réalisé une campagne de prélèvements sur 30 stations de rivière réparties sur l'ensemble de la Grande Terre. Les stations Kuébini KUEB300 et Trou Bleu 3-C ont été prospectées le 4 novembre 2012 (15 prélèvements unitaires effectués par station ; cf Mary, 2012). A cette période, l'étiage était relativement bien marqué dans le Sud de la Grande Terre (le temps était parfois incertain avec quelques épisodes pluvieux ponctuels). La nomenclature choisie pour ces 2 observations dans l'analyse statistique est la suivante : **KUEB300 ET2 NM et 3-C ET2 NM**.

Un total de 28 observations est donc disponible pour l'analyse statistique des données faunistiques (macrofaune benthique) : 14 observations collectées par Hytec, 12 observations collectées par Aqua Terra et 2 par Ethyc'O.

V.1.2. Le traitement des données faunistiques

Afin de pouvoir comparer l'ensemble des données disponibles, **nous avons considéré pour chaque opérateur et chaque station, uniquement les résultats des 5 prélèvements unitaires participant au calcul des indices IBNC et IBS.** Ceci en particulier pour les données d'Hytec et d'Ethyc'o, où respectivement 8 et 15 prélèvements ont été réalisés dans chaque station de rivière. A noter cependant que les données d'Hytec des stations Creek Baie Nord 6-T et Kwè 1-E de l'étiage 2012 pour lesquelles les 8 prélèvements unitaires de benthos avaient été mélangés sur le terrain, ont également été incluses dans l'analyse statistique.

Une analyse en composantes principales centrée (ACP) a été réalisée sur les données faunistiques disponibles (soit 28 observations au total). En effet, ce type d'analyse peut être appliqué aux données faunistiques quand les surfaces échantillonnées sont connues (Dolédec & Chessel, 1991). Les taxa rares, qui n'ont été recueillis qu'une seule fois sur l'ensemble des observations réalisées, ont été écartés de l'analyse. Cela concerne 18 taxons. Le tableau analysé comprend donc 28 lignes (observations) et 35 colonnes (taxons). Pour réduire les disparités numériques entre les taxons à forts effectifs et les taxons à faibles effectifs, les données ont été transformées en $\ln(x+1)$ où x représente le nombre d'individus comptabilisé pour chaque taxon.

De plus, pour chaque observation et toujours sur **la base des 5 prélèvements unitaires participant au calcul des indices IBNC et IBS**, les indices de diversité suivants ont été calculés :

- La richesse taxonomique totale ;
- L'abondance (nombre d'individus récolté dans chaque station) ;
- L'indice EPT qui correspond à la somme du nombre de taxons en insectes éphéméroptères, plécoptères et trichoptères, groupes connus pour contenir de nombreux taxa polluo-sensibles et qui constituent la base des méthodes biologiques d'évaluation de la qualité des milieux aquatiques. Les plécoptères étant absents en Nouvelle-Calédonie, l'indice EPT représente la richesse taxonomique en insectes éphéméroptères et trichoptères ;
- L'indice de diversité de Margalef D fondé sur le nombre d'espèces et le nombre total d'individus de la population considérée. $D = (S-1)/\ln N$ (où N représente l'effectif total de l'échantillon considéré et S le nombre d'espèces de l'échantillon). En général, plus le nombre S d'espèces recensées est important pour un nombre d'individus examiné, plus l'indice est élevé, plus la diversité est grande ;
- l'indice de diversité de Shannon (1949) H' fondé sur le nombre d'espèces et la régularité de leur distribution de fréquence.

$H' = - \sum p_i \log_2 p_i$ (s'exprime en bits par individu) avec p_i représentant l'abondance relative de l'espèce i dans l'échantillon ($p_i = n_i/N$). H' fluctue entre 0 et $\log_2 S$. Un indice de Shannon élevé correspond à des conditions de milieu favorables permettant l'installation de nombreuses espèces. L'indice de Shannon est couramment utilisé en écologie aquatique en tant que paramètre synthétique de la structure des communautés pour évaluer les effets de la pollution sur les communautés biologiques (Agences de l'Eau, 1993). Généralement, la valeur de H' se situe entre 0,5 (très faible diversité) et 4,5 ou 5 (communautés les plus diversifiées) ;

- L'indice de régularité ou d'équitabilité E de Pielou qui correspond au rapport de la diversité H' à la diversité maximale pouvant être obtenue avec le même nombre de taxa ($H'_{\max} = \log_2 S$). $E = H' / H'_{\max} = H' / \log_2 S$;

L'indice d'équitabilité E varie entre 0 et 1 (lorsqu'il est proche de 0, cela signifie qu'une espèce domine largement dans la communauté benthique ; lorsqu'il équivaut à 1, toutes les espèces ont la même abondance). Pour beaucoup d'écologistes, une équitabilité élevée est l'indice d'un peuplement équilibré ;

- L'IBNC (Indice Biotique de la Nouvelle-Calédonie).
- L'IBS (Indice Bio-sédimentaire).

L'IBNC et l'IBS sont des méthodes indicielles développées pour la Nouvelle-Calédonie. Elles sont fondées sur la présence de taxons indicateurs, caractérisés par un coefficient de polluo-sensibilité (appelé score) qui leur a été attribué en fonction de leur tolérance vis-à-vis d'un facteur spécifique du milieu. Les valeurs des scores varient entre 1 et 10, les taxons les plus sensibles ayant les scores maximum (Mary & Archaimbault, 2012a).

L'IBNC permet de mettre en évidence des pollutions de type organique (générées par les effluents domestiques, les élevages,...) dans les milieux d'eau courante peu profonds. De même, l'IBS a été élaborée pour évaluer les perturbations de type mécanique générées par les particules sédimentaires, fines en particulier, dans les cours d'eau drainant des terrains à dominante ultrabasique (Mary & Archaimbault, 2012a). Pour une station de rivière, le protocole d'échantillonnage et le calcul de l'indice biotique se font de la même façon pour l'IBNC et l'IBS. Seuls les scores des taxons indicateurs diffèrent.

Les notes indicielles de l'IBS et de l'IBNC sont calculées en se fondant sur la liste faunistique globale obtenue sur 5 prélèvements unitaires collectés dans la station. L'indice biotique d'une station est obtenu en divisant la somme des scores des taxons indicateurs présents par le nombre total de taxons indicateurs. Pour l'IBNC et l'IBS, la note indicielle varie théoriquement entre 0 (aucun taxon indicateur présent) et 10 (tous les taxons indicateurs présents ont un score de 10). Cependant, dans la réalité, celle-ci dépasse rarement la valeur de 7,50. Le tableau 4.3 présente les classes de qualités biologiques pour l'IBNC et l'IBS (Mary & Archaimbault, 2012a).

Tableau 4.3 Classes de qualité de l'IBNC et de l'IBS

IBNC	IBS	Qualité
IBNC \leq 3,50	\leq 4,25	Très mauvaise
3,50 < IBNC \leq 4,50	4,25 < IBS \leq 5,00	Mauvaise
4,50 < IBNC \leq 5,50	5,00 < IBS \leq 5,75	Passable
5,50 < IBNC \leq 6,50	5,75 < IBS \leq 6,50	Bonne
IBNC > 6,50	> 6,50	Excellente

Remarque : Les méthodes IBNC et IBS sont actuellement en cours de révision (les scores des taxons indicateurs et le mode de calcul des indices seront modifiés prochainement). Les calculs effectués dans le cadre de la présente étude ont été réalisés selon les recommandations du guide de Mary & Archaimbault (2012a), c'est-à-dire en se référant à la méthode existante et non encore réactualisée.

Les huit métriques décrites ci-dessus ont été calculées pour chacune des 28 observations, puis analysées par Analyse en Composantes Principale normée (ACP).

V.2. Résultats

IV.2.1. Analyse faunistique globale

Les résultats de l'ACP centrée réalisée sur les données faunistiques sont présentés aux figures 4.1 et 4.2. Le graphe des valeurs propres indique que les 2 premiers axes expliquent environ 57 % de l'inertie totale des données (respectivement 37 % et 20% d'inertie pour les axes F1 et F2).

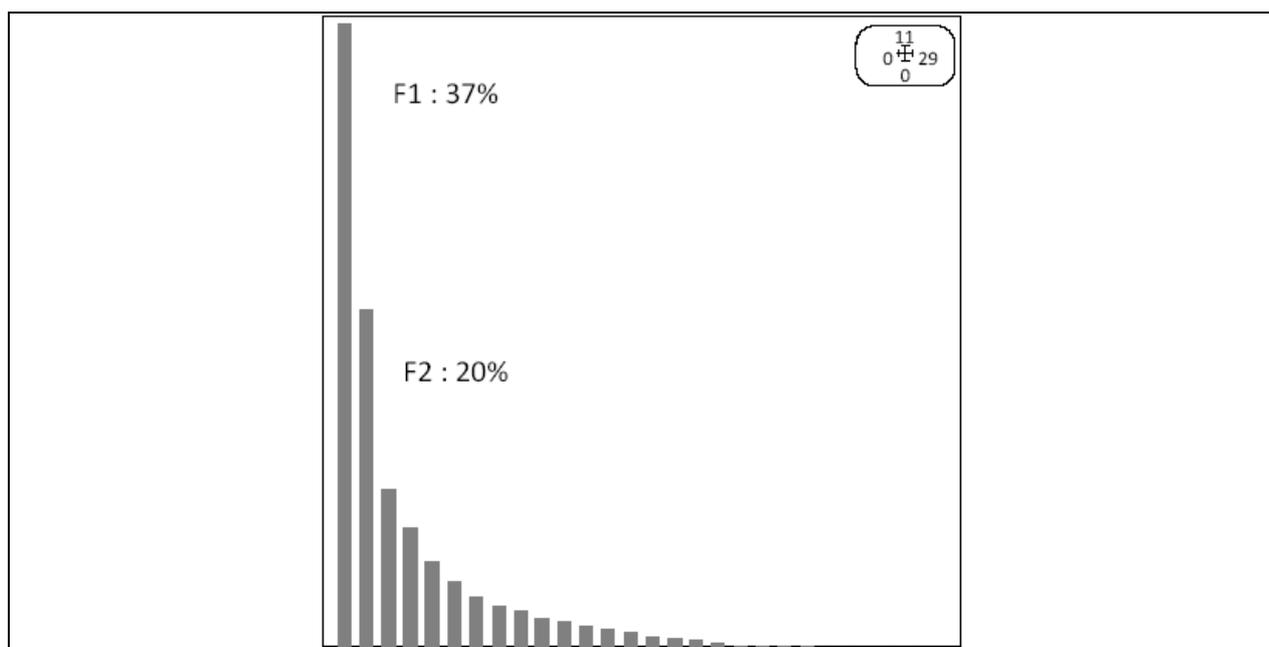


Figure 4.1 ACP centrée réalisée sur les données faunistiques (28 observations x 35 taxons).
Graphe des valeurs propres.

Les éléments d'interprétation de l'analyse (contributions des taxons et des stations à la constitution des composantes principales) figurent en annexe 3.

L'axe F1 est fortement influencé par les observations de Creek Baie Nord 6-T (étiages 2011 et 2012, moyennes eaux 2013) et par l'observation Kwë 1-E de juin 2012. Les stations qui contribuent fortement à la constitution de l'axe F2 sont Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T de l'étiage 2011, Trou Bleu 3-C (étiage 2012 et moyennes eaux 2013), Kaoris KAOR200 des moyennes eaux 2013 (cf annexe 3).

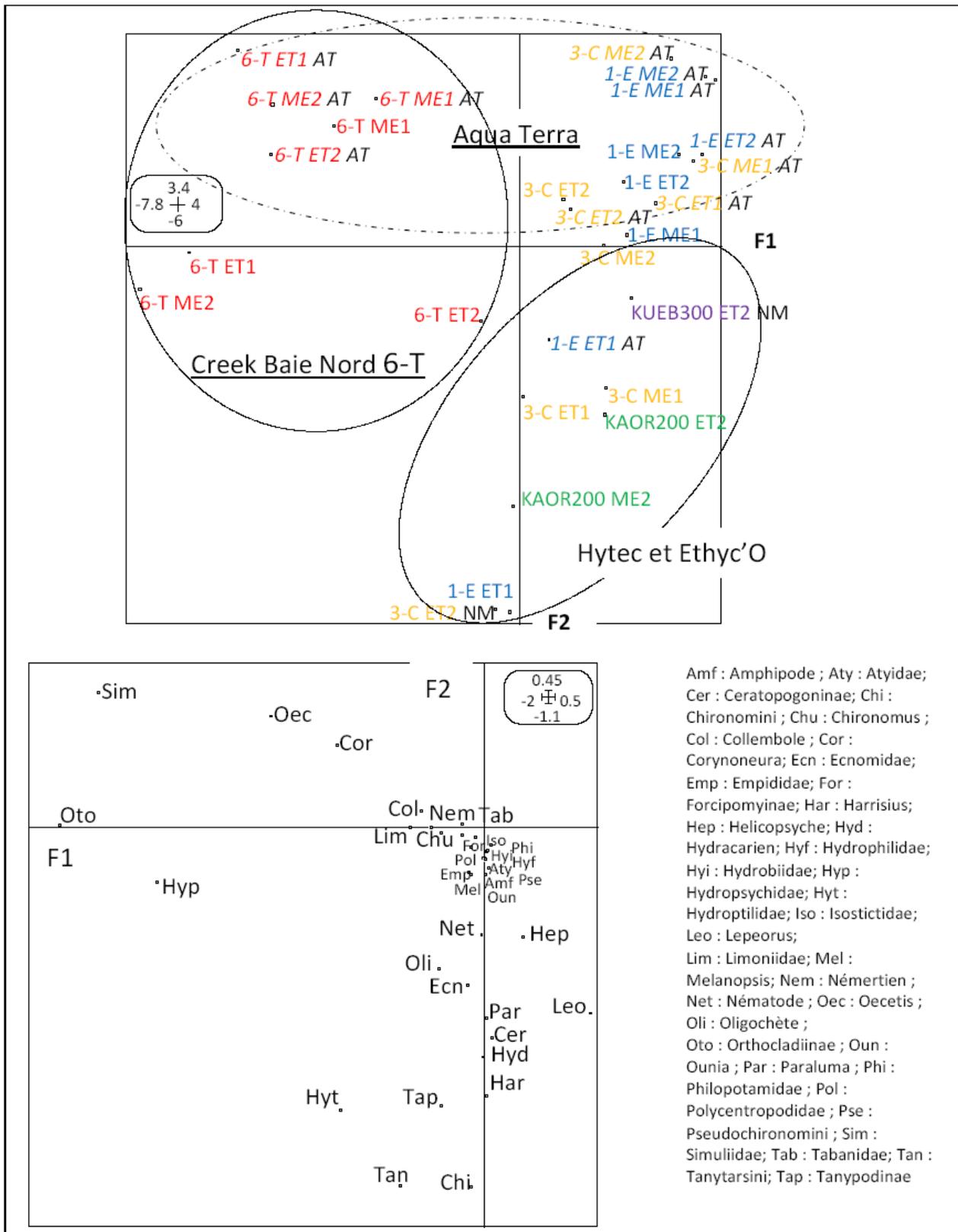


Figure 4.2 Résultats de l'ACP centrée réalisée sur les données faunistiques (28 observations x 35 taxons). Position relative des observations et des taxons sur le plan factoriel F1xF2. En italique les observations de Aqua Terra (AT), en ombré, les observations d'Ethyc'O (NM).

L'axe F1 distingue nettement les observations de Creek Baie Nord 6-T. Cette station se caractérise par la **dominance de taxons ubiquistes**⁴ pouvant être présents en densité importante, tels que les insectes diptères Simuliidae et Chironomidae Orthoclaadiinae, les trichoptères Hydropsychidae, Hydroptilidae et Leptoceridae *Oecetis sp.* L'ensemble de ces taxons ont une forte contribution pour l'axe F1 (cf annexe 3). **Ces résultats confirment ceux de l'analyse statistique physico-chimique de l'eau** (cf chapitre 3), pour laquelle la station Creek Baie Nord 6-T se différencie nettement des autres stations.

L'axe F2 individualise les observations d'Aqua Terra de celles de Hytec et Ethyc'O. Cette variabilité s'explique par le fait que de nombreux taxons ubiquistes (Hydracariens, insectes trichoptères Hydroptilidae, diptères Ceratopogoninae, Chironomidae Chironomini, Tanytarsini, Tanypodinae et *Harrisius sp.*) sont bien moins représentés (tant en abondance qu'en nombre d'occurrence) dans les observations d'Aqua Terra que dans celles d'Hytec et d'Ethyc'O. Cette figure souligne également **une homogénéité dans le contenu faunistique des observations prélevées par Aqua Terra.** Ainsi, les observations de Kwë 1-E et de Trou Bleu 3-C sont regroupées.

Pour compléter cette analyse, les données recueillies par Aqua Terra ont été comparées à celles d'Hytec pour les 3 stations Creek Baie Nord 6-T, Kwë 1-E et Trou Bleu 3-C uniquement, aux 4 saisons d'échantillonnage (soit 12 observations au total) et **sur la base de 5 prélèvements.** Ont été calculés pour les 27 taxons les mieux représentés (nombre d'apparition supérieur à 1), leur nombre d'occurrence total, ainsi que le nombre total d'individus collectés (cf tableau 4.4)

Parmi les taxons les mieux représentés, un tiers des taxons identifiés par Hytec n'a pas été récolté par Aqua Terra. Il s'agit par exemple des nématodes, des némertiens, des insectes éphéméroptères Leptophlebiidae *Ounia sp.*, des trichoptères Polycentropodidae, des diptères Chironomidae *Chironomus*, Empididae et Forcipomyiinae. De même, sur les 12 observations, la majorité des taxons considérés a été prélevée bien plus fréquemment par Hytec que par Aqua Terra, par exemple :

- les hydracariens : 9 observations sur 12 pour Hytec (86 individus) et 5 observations sur 12 pour Aqua Terra (15 individus) ;
- l'éphéméroptère Leptophlebiidae *Paraluma sp.* : 7 observations sur 12 pour Hytec (12 individus) et seulement 1 observation sur 12 pour Aqua Terra (11 individus) ;
- les diptères Ceratopogoninae : 6 observations sur 12 pour Hytec (11 individus) et seulement 2 observations sur les 12 pour Aqua Terra (4 individus) ;
- les diptères Chironomidae Chironomini : 8 observations sur 12 pour Hytec (69 individus) et seulement 1 observation sur 12 pour Aqua Terra (1 individu) ;
- les diptères Chironomidae Tanytarsini : 11 observations sur les 12 pour Hytec (255 individus) et 8 observations sur les 12 pour Aqua Terra (21 individus) ;
- les diptères Limoniidae : 3 observations sur les 12 pour Hytec (16 individus) et seulement 1 observation sur les 12 pour Aqua Terra (5 individus).

Quelques taxons ont été plus fréquemment prélevés par Aqua Terra. Il s'agit principalement des insectes Collembolés [3 observations (3 individus) ; pour Hytec : 2 observations (12 individus)], des trichoptères Ecnomidae [3 observations (6 individus) ; pour Hytec : 2 observations (9 individus)] et des trichoptères Leptoceridae *Oecetis sp.* [5 observations (122 individus) ; pour Hytec : 4 observations (57 individus)].

⁴ Les espèces ubiquistes sont capables de coloniser des habitats très variés, elles ne présentent donc aucune inféodation à un type de biotope donné (Ramade, 1998).

Tableau 4.4 Comparaison des données recueillies par Aqua Terra et Hytec sur les stations Creek Baie Nord 6-T, Kwè 1-E et Trou Bleu 3-C aux 4 saisons d'échantillonnage (12 observations au total, 27 taxons les mieux représentés).

	Données Hytec		Données Aqua Terra	
	Nombre d'occurrence	Nombre total d'ind collectés	Nombre d'occurrence	Nombre total d'ind collectés
Nématode	3	4	0	0
Némertien	3	8	0	0
Oligochète	6	35	1	4
Hydrobiidae	4	12	0	0
Hydracarien	9	86	5	15
Collembole	2	12	3	3
Lepeorus	6	27	4	52
Ounia	2	3	0	0
Paraluma	7	12	1	11
Ecnomidae	2	9	3	6
Helicopsyche	4	21	1	9
Hydropsychidae	8	894	6	276
Hydroptilidae	12	671	12	431
Oecetis	4	57	5	122
Polycentropodidae	2	2	0	0
Simuliidae	6	670	5	727
Ceratopogoninae	6	11	2	4
Forcipomyiinae	2	3	0	0
Chironomini	8	69	1	1
Chironomus	2	13	0	0
Tanytarsini	11	255	8	21
Harrisius	4	52	1	2
Corynoneura	6	113	6	47
Orthocladiinae	12	1351	7	890
Tanypodinae	7	53	5	6
Empididae	4	6	0	0
Limoniidae	3	16	1	5

IV.2.1. Diversité faunistique et comparaison des données de Hytec et d'Aqua Terra

Le tableau 4.5 présente les indices de diversité et indices biologiques calculés pour les 28 observations considérées dans l'analyse.

La figure 4.3 présente les résultats de l'ACP réalisée sur l'ensemble de ces données. A l'annexe 4, figurent les éléments d'interprétation de l'ACP (contributions absolues des variables et des observations à la constitution des axes principaux F1 et F2).

Tableau 4.5 Indices biologiques et de diversité calculés pour les données recueillies par Aqua Terra, Hytec et Ethyc'o durant la période d'étude considérée (28 observations au total, base de 5 prélèvements par station)

Date de prélèvement	Opérateur	Station	Nomenclature	Abondance	Richesse taxonomique	indice EPT	Indice de Margalef	Indice de Shannon	Equitabilité	IBNC	IBS
22/11/2011	Aqua Terra	1-E	1-E ET1 AT	203	11	5	1,88	1,48	0,43	5,00	3,86
20/06/2012			1-E ME1 AT	11	3	2	0,83	0,87	0,55	6,50	5,50
18/01/2013			1-E ET2 AT	22	5	2	1,29	1,86	0,80	5,25	5,25
04/06/2013			1-E ME2 AT	5	3	1	1,24	1,37	0,86	5,00	3,00
22/11/2011	Hytec	1-E	1-E ET1	347	15	6	2,39	2,69	0,69	5,30	4,45
20/06/2012			1-E ME1	43	9	3	2,13	2,55	0,80	4,33	4,50
18/01/2013			1-E ET2	34	7	2	1,70	2,01	0,71	5,00	4,00
04/06/2013			1-E ME2	18	8	3	2,42	2,75	0,92	5,00	4,14
22/11/2011	Aqua Terra	3-C	3-C ET1 AT	59	8	3	1,72	1,83	0,61	5,20	5,75
20/06/2012			3-C ME1 AT	15	6	2	1,85	2,04	0,79	5,67	4,67
18/01/2013			3-C ET2 AT	83	9	2	1,81	1,83	0,58	5,50	5,33
04/06/2013			3-C ME2 AT	11	4	2	1,25	1,79	0,89	5,50	5,33
04/11/2012	Ethyc'O	3-C	3-C ET2 NM	313	22	9	3,65	3,42	0,77	6,12	5,35
22/11/2011	Hytec	3-C	3-C ET1	172	19	7	3,50	3,14	0,74	5,60	5,29
20/06/2012			3-C ME1	135	9	2	1,63	2,43	0,77	5,14	4,33
18/01/2013			3-C ET2	56	12	5	2,73	2,59	0,72	5,50	5,33
04/06/2013			3-C ME2	64	10	4	2,16	2,51	0,75	5,13	5,29

ET1 : étiage année 1 ; ME1 : moyennes eaux année 1 ; ET2 : étiage année 2 ; ME2 : moyennes eaux année 2

Tableau 4.5 (suite) Indices biologiques et de diversité calculés pour les données recueillies par Aqua Terra, Hytec et Ethyc'o durant la période d'étude considérée (28 observations au total, base de 5 prélèvements par station)

Date de prélèvement	Opérateur	Station	Nomenclature	Abondance	Richesse taxonomique	indice EPT	Indice de Margalef	Indice de Shannon	Equitabilité	IBNC	IBS
22/11/2011	Aqua Terra	6-T	6-T ET1 AT	988	8	3	1,02	1,54	0,51	5,00	5,00
20/06/2012			6-T ME1 AT	334	9	4	1,38	0,91	0,29	5,33	5,00
18/01/2013			6-T ET2 AT	435	13	4	1,98	2,18	0,59	5,22	4,75
06/06/2013			6-T ME2 AT	480	9	3	1,30	1,97	0,62	4,67	5,17
22/11/2011	Hytec	6-T	6-T ET1	1118	15	4	1,99	1,86	0,48	4,40	4,64
20/06/2012			6-T ME1	721	10	3	1,37	0,57	0,17	4,50	5,50
11/12/2012			6-T ET2	165	19	3	3,53	3,03	0,71	4,17	4,62
06/06/2013			6-T ME2	1641	22	5	2,84	2,13	0,48	5,13	4,82
11/12/2012	Hytec	KAOR200	KAOR200 ET2	179	21	6	3,86	3,09	0,70	5,43	5,07
06/06/2013			KAOR200 ME2	337	18	7	2,92	2,64	0,63	5,53	5,13
04/11/2012	Ethyc'O	KUEB300	KUEB300 ET2 NM	94	15	9	3,08	2,85	0,73	6,36	5,70

ET1 : étiage année 1 ; ME1 : moyennes eaux année 1 ; ET2 : étiage année 2 ; ME2 : moyennes eaux année 2

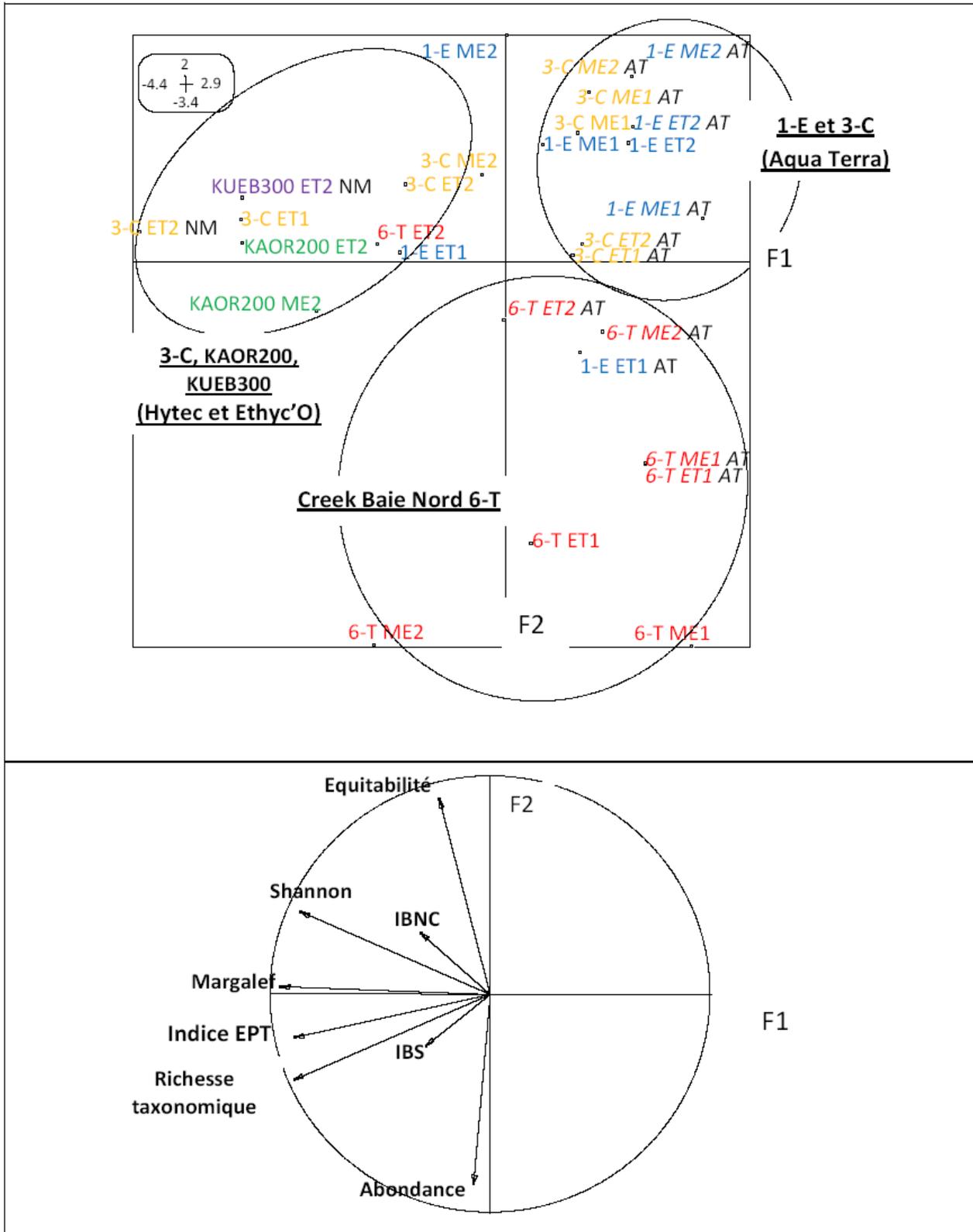


Figure 4.3 Résultats de l'ACP normée réalisée sur les indices de diversité et indices biologiques (28 observations x 8 variables). Position relative des observations et cercle de corrélation des variables sur le plan factoriel F1xF2. En italique les observations de Aqua Terra (AT), en ombré, les observations d'Ethyc'O (NM).

L'axe F1 (43% d'inertie) est principalement lié à la richesse taxonomique et à la diversité faunistique, représentée par l'indice EPT et les indices de diversité de Margalef et de Shannon. **L'axe F2 (25% d'inertie) est représenté par l'abondance et l'équitabilité** (cf annexe 4).

Comme pour l'analyse précédente, les 3 groupes d'observations suivants se différencient :

- **Les observations de Creek Baie Nord 6-T** (Hytec et Aqua Terra, à l'exception de 6-T d'Hytec à l'été 2012), **ainsi que Kwë 1-E d'Aqua Terra à l'été 2011**. Les peuplements benthiques se caractérisent en général par de fortes abondances (entre 400 et 1600 individus collectés), mais de faibles indices de diversité : indice de Shannon et de Margalef compris entre 1 et 2, indice EPT compris entre 3 et 5, équitabilité variant entre 0,3 et 0,6 ;
- **Les observations de Kwë 1-E et de Trou Bleu 3-C d'Aqua Terra**, ainsi que les observations suivantes d'Hytec : Trou Bleu 3-C et Kwë 1-E de juin 2012, Kwë 1-E de janvier 2013. Ces observations se particularisent par de faibles abondances (moins de 200 individus collectés), une faible richesse taxonomique (moins de 11 taxons récoltés), de faibles indices de diversité (indice de Shannon inférieur à 2,5, indice de Margalef compris entre 1 et 2, indice EPT compris entre 1 et 3), une équitabilité relativement importante (elle varie entre 0,6 et 0,9 pour la majorité des observations) ;
- **Les observations Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200 et Kuébini KUEB300 d'Hytec et Ethyc'O**, ainsi que les 2 observations suivantes d'Hytec : Creek Baie Nord 6-T de décembre 2012 et Kwë 1-E de novembre 2011. Ces observations ont été caractérisées par des richesses taxonomiques et des indices de diversité relativement élevés : en général, richesse taxonomique supérieure à 15 taxons, indice de Shannon et de Margalef compris entre 2,5 et 3,5, indice EPT compris entre 5 et 9, équitabilité variant entre 0,6 et 0,8.

Cette analyse confirme ainsi les résultats mis en évidence précédemment, à savoir la **particularité des observations d'Aqua Terra qui présentent en général une faible richesse taxonomique et des indices de diversité peu importants**.

En complément, les données obtenues par Aqua Terra et Hytec pour les 3 stations Creek Baie Nord 6-T, Kwë 1-E et Trou Bleu 3-C aux 4 saisons d'échantillonnage ont été comparées au moyen d'analyses statistiques univariées (test des signes et test non paramétrique de Wilcoxon sur échantillons appariés). Les résultats figurent dans le tableau suivant.

Tableau 4.6 Résultats des tests des signes et de Wilcoxon comparant les paramètres biotiques calculés sur les prélèvements réalisés par Aqua Terra et Hytec dans les 3 stations Creek Baie Nord 6-T, Kwë 1-E et Trou Bleu 3-C aux 4 saisons d'échantillonnage

Paramètres	Test des signes (p)	Test de Wilcoxon	
		z	P(w)
Abondance (N)	0,0386	-2,040	0,0414
Richesse taxonomique (S)	0,0005	-3,059	0,0022
Indice EPT	0,1094	-2,191	0,0260
Indice de Margalef (D)	0,0386	-2,824	0,0047
Indice de Shannon	0,0063	-2,746	0,0060
Equitabilité	0,9999	-0,667	0,5049
IBNC	0,3438	-1,682	0,0926
IBS	0,2266	-0,711	0,4769

En grisé, les différences significatives au seuil 0,05.

Les tests statistiques indiquent que **l'abondance, la richesse taxonomique, les indices de Margalef et de Shannon sont significativement plus élevés dans les prélèvements effectués par Hytec que par Aqua Terra**. En revanche, les valeurs de l'équitabilité, de l'IBNC et de l'IBS ne sont pas significativement différents entre les deux opérateurs pour un même prélèvement.

En ce qui concerne les indices biotiques IBNC et IBS, l'IBS reste le plus pertinent pour caractériser la qualité biologique des stations non soumises *a priori* à des perturbations de type organique, à savoir Kwè 1-E, Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200 et Kuébini KUEB300. Pour la station Creek Baie Nord 6-T, les deux indices sont à considérer. La figure 4.4 présente les indices obtenus aux 4 saisons pour Hytec et Aqua Terra (cf également tableau 4.5).

Les résultats montrent :

- **pour la station Creek Baie Nord 6-T : globalement une mauvaise qualité biologique indiquée par les 2 indices IBNC et IBS** (résultats d'Hytec). Les données Aqua Terra traduisent une qualité passable pour l'IBNC et mauvaise pour l'IBS.
- **pour la station Kwè 1-E : une qualité mauvaise à très mauvaise**. Les données de Hytec indiquent ainsi une mauvaise qualité biologique durant la première année d'échantillonnage et une très mauvaise qualité biologique en 2013. Les données d'Aqua Terra indiquent une très mauvaise qualité pour novembre 2011 et juin 2013 et une qualité passable pour juin 2012 et janvier 2013. Cependant, pour ces 2 dernières saisons, le calcul a été effectué sur un nombre restreint de taxons (inférieur à 5). **Les indices obtenus doivent donc être interprétés avec précaution.**
- **pour les stations Kaoris KAOR200 et Kuébini KUEB300 : une qualité passable quelque soit la saison** (données d'Hytec et d'Ethyc'O).
- **pour la station Trou Bleu 3-C : une qualité passable en novembre 2011, janvier et juin 2013 et mauvaise en juin 2012**. En effet, en juin 2012, les prélèvements de faune benthique ont été peu diversifiés (moins de 10 taxons prélevés), ce qui justifie la qualité biologique calculée. Celle-ci est en relation avec le régime hydrologique des rivières (précipitations importantes durant cette période engendrant de forts débits, ce qui reste des conditions peu favorables au développement des communautés d'invertébrés benthiques). Les données d'Aqua Terra et d'Hytec donnent une qualité biologique équivalente (IBS) à chaque saison. Le prélèvement réalisé par Ethyc'O en novembre 2012 indique également une qualité biologique passable au moyen de l'IBS, basé sur un nombre plus important de taxons collectés (22 taxons).

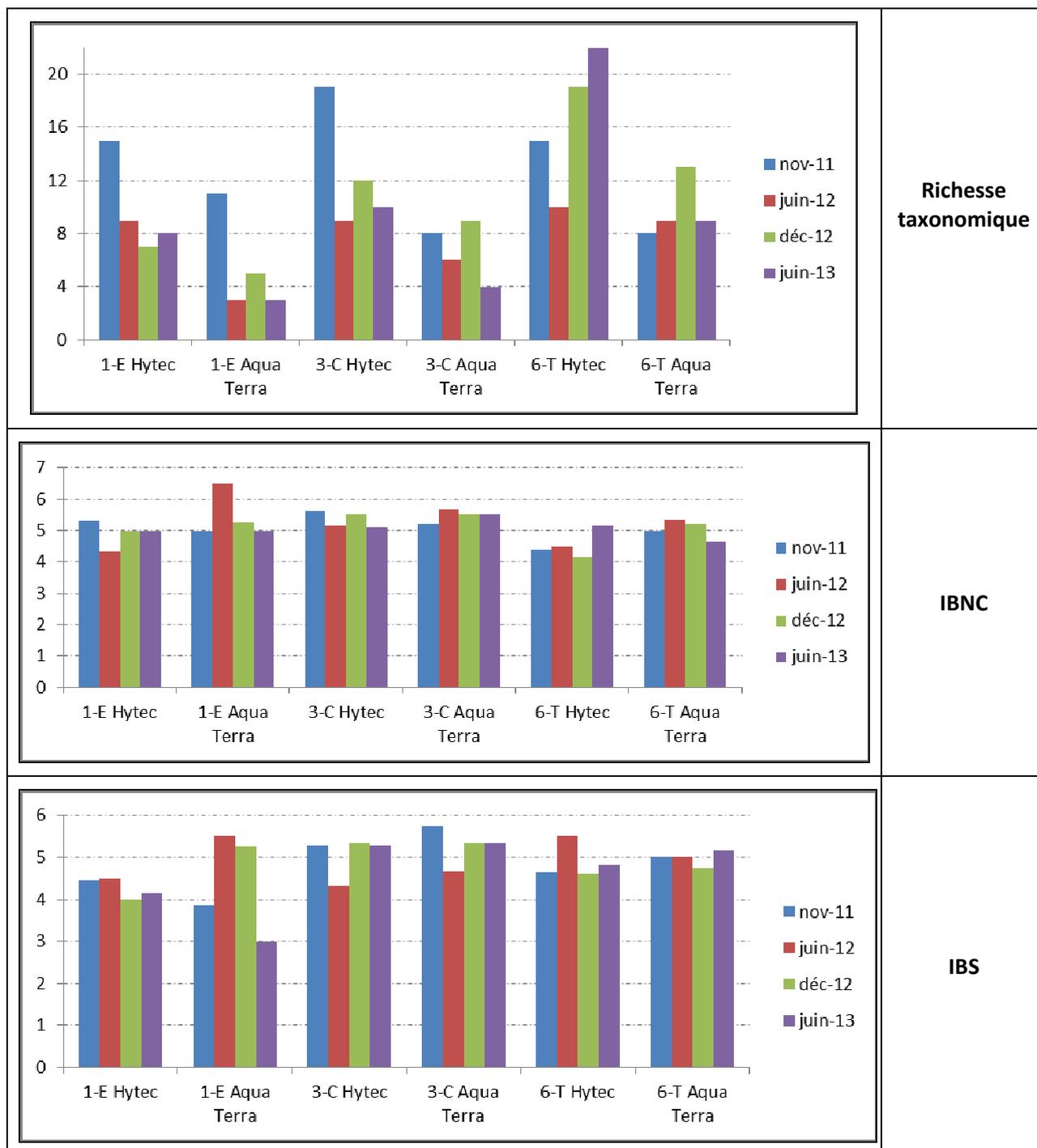


Figure 4.4 Comparaison de la richesse taxonomique et des indices biologiques IBNC et IBS obtenus par Hytec et Aqua Terra sur Trou Bleu 3-C, Kwè 1-E et Creek Baie Nord 6-T aux 4 saisons (5 prélèvements).

La qualité médiocre à la station Trou Bleu 3-C s'explique par le fait que la richesse taxonomique des communautés benthiques est faible ou moyenne, avec peu de taxons polluo-sensibles à score élevé. De plus, peu de **substrats biogènes**⁵ ont été prospectés par Hytec et Aqua Terra dans cette station, en raison certainement de leur faible disponibilité. Les substrats⁶ susceptibles d'être rencontrés dans une station de rivière ont été classés du plus biogène au moins biogène par Mary & Archambault (2012a). Il s'agit des :

1. bryophytes,
2. plantes supérieures immergées (hydrophytes) tels que *Hydrilla verticillata*,
3. litières,
4. chevelus racinaires / supports ligneux (troncs, branchages),
5. sédiments minéraux de grande taille (pierres et galets) (25 à 250 mm),
6. blocs déplaçables (taille supérieure à 250 mm) inclus dans une matrice de pierres et galets (25 à 250 mm),
7. granulats grossiers (graviers) (2 à 25 mm),
8. vases : sédiments fins (< 0,1 mm) avec débris organiques fins,
9. sables et limons (< 2 mm),
10. fines latéritiques (< 2 mm),
11. algues,
12. surfaces uniformes dures naturelles et artificielles (roches, dalles, argiles compactes) (support non déplaçable).

Ce classement correspond à l'ordre d'échantillonnage prioritaire. Ainsi les bryophytes sont à prélever en premier.

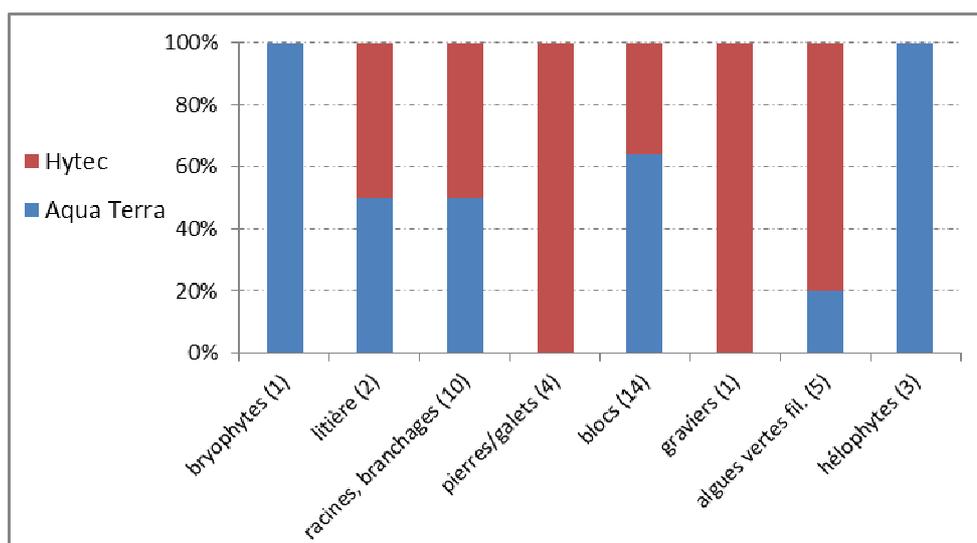
La figure 4.5 montre la distribution des substrats prospectés par Hytec et Aqua Terra dans la station Trou Bleu 3-C au cours des 4 campagnes et sur la base des 5 prélèvements considérés pour le calcul des indices IBNC et IBS (soit 40 prélèvements au total). Figure, entre parenthèses, le nombre total de prélèvements considérés pour chaque type de substrat.

Durant la période de l'étude, mises à part les hélrophytes⁷, **7 types de substrats ont été prélevés au total** (figure 4.5). Les substrats les plus biogènes n'ont été échantillonnés qu'une fois : il s'agit des bryophytes prospectés par Aqua Terra uniquement et des litières échantillonnées par les 2 opérateurs. Les autres substrats biogènes, branchages et racines, ont été prospectés plus souvent par chaque opérateur (cinq fois) et les pierres et galets quatre fois, mais par Hytec uniquement. Les algues, échantillonnées quatre fois par Hytec et une fois par Aqua Terra restent un substrat peu biogène, ainsi que les « hélrophytes » (plantes aquatiques de bordure) échantillonnées par Aqua Terra uniquement. Cette dernière catégorie de substrat n'est d'ailleurs pas intégrée dans le protocole réactualisé de Mary & Archambault (2012a), en raison de sa rareté dans les cours d'eau néo-calédoniens.

⁵ Un substrat **biogène** est un substrat favorable au développement de la vie aquatique.

⁶ On entend par substrat un ensemble d'éléments minéraux, végétaux et/ou organiques, présentant des caractères physiques homogènes sur une certaine surface. Pour qu'un substrat puisse être considéré comme significativement présent dans une station, la surface minimale qu'il doit occuper est la taille du cadre d'un Suber, soit 1/20 m².

⁷ Une hélrophyte est une plante aquatique généralement dressée, dont seule la partie inférieure est inondée en permanence (*Typha* et certaines Cyperaceae par exemple).



Les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de fois où chacun de ces supports a été prospecté par Hytec et Vale NC

Figure 4.5 Supports prospectés par Hytec et Aqua Terra dans la station Trou Bleu 3-C au cours des 4 saisons d'échantillonnage (les supports sont classés de gauche à droite du plus biogène au moins biogène).

En novembre 2012, sur la station Trou Bleu 3-C, Ethyc'O avait réalisé des prélèvements (15 au total) dans les **neuf catégories de substrats** suivantes : bryophytes ; litières ; troncs ; pierres/galets ; blocs déplaçables à la main ; vases ; fines latéritiques; algues vertes filamenteuses et dalles, ce qui montre la diversité des habitats à la station Trou Bleu 3-C. Néanmoins, la qualité biologique évaluée au moyen de l'IBS indiquait une qualité passable avec un indice de 5,35 (une bonne qualité biologique était traduite par l'IBNC).

L'ensemble des résultats obtenus sur Trou Bleu 3-C corrobore les conclusions de Lascombe (2011), à savoir que, d'une part, la structuration des communautés benthiques de la station dépend fortement du débit et du régime des précipitations ; d'autre part que si l'IBNC peut indiquer « un bon état de qualité, avec une bonne richesse taxonomique, l'IBS en revanche n'exprime qu'un état « passable », non explicable ici par une influence anthropique ». Pour Lascombe (2011), « ceci confirme la difficulté de qualifier un état par cet indice en l'absence de référence à une note indicelle maximale tenant compte des caractéristiques mésologiques des cours d'eau et des influences éco-régionales. »

L'analyse statistique des données faunistiques (macrofaune benthique) montre :

- que Creek Baie Nord 6-T se distingue des autres stations suivies par des peuplements faunistiques peu diversifiés, constitués principalement de taxons ubiquistes à densités élevées ;
- que les résultats faunistiques de Hytec et Ethyc'O sur Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200 et Kuébini KUEB300 se différencient bien de ceux des stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E par des richesses taxonomiques et des indices de diversité relativement importants ;
- qu'aucune station de référence ne présente une bonne qualité biologique (IBS) ;
- que les résultats des prélèvements faunistiques réalisés par Aqua Terra sur Kwë 1-E et sa station de référence Trou Bleu 3-C sont relativement similaires, caractérisés par de faibles abondances, une faible richesse taxonomique, des indices de diversité peu élevés (moins de 10 taxons prélevés ; indices de Shannon et de Margalef compris entre 1 et 2). Les données de Hytec, en revanche, discriminent mieux les 2 stations, à l'étiage 2011 en particulier (indice de Shannon et Margalef compris entre 3 et 3,5 pour Trou Bleu 3-C et entre 2,4 et 2,7 pour Kwë 1-E) ;
- que les prélèvements faunistiques réalisés par Aqua Terra présentent des richesses taxonomiques, des diversités bien moindres et une abondance plus faible que ceux d'Hytec (plus d'un tiers des taxons identifiés par Hytec n'a pas été récolté par Aqua Terra). En revanche, l'IBNC et de l'IBS ne sont pas significativement différents entre les deux opérateurs pour un même prélèvement.

La comparaison des substrats prélevés par Hytec et Aqua Terra durant les 4 campagnes d'échantillonnage sur les 3 stations Trou Bleu 3-C, Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T (figure 4.6) permet d'expliquer en partie les différences de richesses taxonomiques et d'abondance observées entre les deux opérateurs. Ces figures montrent que :

- les substrats minéraux de granulométrie grossière (roche-mère, dalles, blocs) ont été prélevés préférentiellement par Aqua Terra (52% des prélèvements, 40% pour Hytec), alors qu'ils constituent des habitats moyennement à faiblement biogènes ;
- *a contrario*, les substrats organiques fortement biogènes (bryophytes, litières, racines, troncs, branchages) ainsi que les pierres/galets, constituent seulement 38% des prélèvements réalisés chez Aqua Terra (23 prélèvements sur 60), avec une sous-représentativité de la catégorie pierres/galets qui est fortement biogène (chez Hytec, les substrats organiques et les pierres/galets constituent 41% des prélèvements) ;
- les graviers et sables n'ont jamais été prospectés par Aqua Terra ;
- des plantes dénommées « Cypéracées » ont été échantillonnées par Aqua Terra à 5 reprises mais il s'agit certainement de plantes de maquis minier, immergées une partie de l'année seulement et non aquatiques ou semi-aquatiques. La catégorie de substrat « hélrophytes » n'a d'ailleurs pas été retenue dans le protocole réactualisé de Mary & Archambault (2012a), en raison de sa très faible représentativité dans les cours d'eau néo-calédoniens.

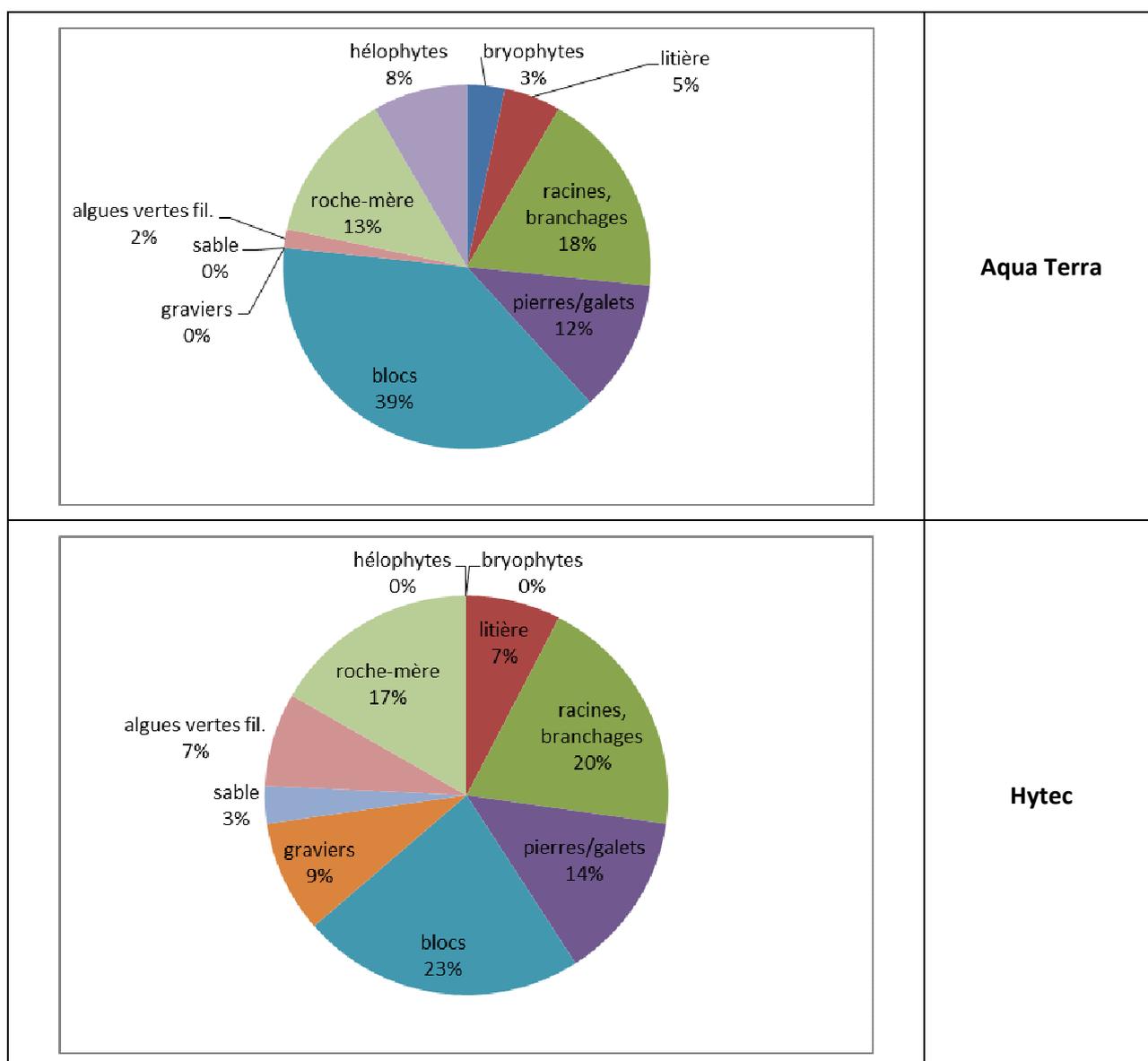


Figure 4.6 Comparaison des supports prospectés par Aqua Terra et Hytec durant l'étude (données correspondant aux stations Trou Bleu 3-C, Kwé 1-E et Creek Baie Nord 6-T pour les 4 saisons d'échantillonnage). Les supports sont classés du plus biogène au moins biogène à partir des bryophytes et en suivant le sens des aiguilles d'une montre. Le pourcentage indique la proportion de substrats prospectés par chaque opérateur (sur 60 prélèvements).

Ces résultats ne suffisent cependant pas à expliquer à eux seuls la faiblesse des données collectées par Aqua Terra. Il se pourrait, en outre, que la surface délimitée par le filet d'échantillonnage (surber) qui correspond à 0,05 m² ait été parfois incomplètement prélevée. Le guide Mary & Archambault (2011) détaille pourtant, pour chaque substrat, le mode de prélèvement adéquat. Il indique notamment que lorsque la surface échantillonnée ne remplit pas tout le cadre du surber, il reste nécessaire de renouveler le prélèvement jusqu'à atteindre cette surface (cas des branchages ou bryophytes par exemple).

Le fait également que les opérateurs d'Aqua Terra en charge des prélèvements faunistiques ne soient pas les mêmes d'une campagne d'échantillonnage à l'autre peut contribuer à expliquer l'incohérence des données observées. **En effet, l'échantillonnage est une phase cruciale dans l'étape d'évaluation de la qualité des cours d'eau. Il nécessite l'intervention de personnes formées, ayant une bonne expérience des rivières et une bonne prise en main du guide Mary & Archambault (2012).**

De plus, il est vraisemblable qu'un traitement inadéquat des prélèvements faunistiques ait été effectué en laboratoire (tris). Nous n'avons cependant aucune information à ce sujet.

D'autre part, aucune validation taxonomique par un organisme tiers n'a été réalisée sur les listes faunistiques établies par Aqua Terra. Celle-ci n'est pas obligatoire et ne fait pas partie du cahier des charges imposé à Aqua Terra par Vale NC. **Il est toutefois fortement recommandé de prévoir, pour chaque campagne, le contrôle aléatoire d'une partie des taxons déterminés et de l'efficacité du tri.**

Synthèse : Principales caractéristiques faunistiques des stations suivies

Stations impactées (catégorie 1) (données Hytec et Aqua Terra)

* Creek Baie Nord 6-T : cette station se distingue des autres stations par des peuplements dominés par **des taxons ubiquistes**, présents généralement en densité élevée (insectes diptères Simuliidae et Chironomidae Orthoclaadiinae et Tanytarsini, trichoptères Hydropsychidae, Hydroptilidae et Leptoceridae *Oecetis sp.*). Peuplements peu diversifiés (indice de Shannon et de Margalef compris entre 1 et 2, indice EPT compris entre 3 et 5, équitabilité variant entre 0,3 et 0,6). Les indices IBNC et IBS traduisent **une mauvaise qualité biologique** en général.

* Kwë 1-E : peuplements benthiques caractérisés en général par de faibles densités (moins de 4 000 individus par m²), une faible richesse taxonomique (une dizaine de taxons), de faibles indices de diversité (indice de Shannon inférieur à 2,5 ; indice de Margalef compris entre 1 et 2 ; indice EPT compris entre 1 et 3). L'équitabilité indique des peuplements moyennement à bien équilibrés (entre 0,6 et 0,9). L'IBS indique **une qualité biologique mauvaise à très mauvaise**.

Stations de référence (catégorie 3, données Hytec et Ethyc'O)

* Kaoris KAOR200 : richesse taxonomique intermédiaire (une vingtaine de taxons) ; diversité faunistique moyenne (indice de Shannon compris entre 2,5 et 3 ; indice de Margalef compris entre 3 et 4 ; indice EPT entre 6 et 7 ; équitabilité variant entre 0,6 et 0,7). L'IBS indique **une qualité biologique passable quelque soit la saison**.

* Trou Bleu 3-C : structuration des communautés benthiques fortement dépendante du débit et du régime des précipitations : richesse taxonomique et diversité faunistique faibles en période de moyennes eaux (une dizaine de taxons ; indice Margalef compris entre 1,5 et 3 ; indice de Shannon de 2,5 environ ; indice EPT compris entre 2 et 5), principalement en raison des débits élevés peu favorables au développement de la faune benthique. L'IBS indique une qualité biologique passable en novembre 2011, janvier et juin 2013 et mauvaise en juin 2012.

A l'étiage, une richesse taxonomique et une diversité faunistique moyennes : une vingtaine de taxons ; indice Margalef et indice de Shannon compris entre 3 et 3,5 ; indice EPT compris entre 7 et 9. L'équitabilité indique des peuplements relativement bien équilibrés quelque soit la saison (0,7 à 0,8). L'IBS traduit une qualité biologique passable quelque soit la saison. A noter que les données acquises antérieurement sont comparables indiquant une qualité passable au moyen de l'IBS (cf Lascombe, 2011) et que la partie supérieure du bassin versant est soumise à quelques pressions anthropiques (présence d'habitations avec pistes d'accès).

Aucune des stations étudiées (Kaoris KAOR200, Trou Bleu 3-C, Kuébini KUEB300) ne présente une bonne qualité biologique malgré des richesses taxonomiques et des indices de diversité plus élevés que celles calculées sur les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E.

Il est important de repreciser ici **qu'aucune donnée faunistique n'a été acquise sur Wajana WAJA300 durant la période considérée et que le nombre de données disponibles pour Kuébini KUEB300 et Kaoris KAOR200 reste insuffisant** pour présenter un véritable état de référence de ces stations. En effet, l'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques dans Wajana WAJA300, Kuébini KUEB300 et Kaoris KAOR200 n'était pas initialement prévu ; la station Kaoris KAOR200 a néanmoins été prospectée durant la seconde année en tant que station de référence pressentie pour Creek Baie Nord 6-T.

Chapitre VI - Analyse des données floristiques (diatomées)

VI.1. Méthodologie

V.1.1. Les données disponibles

Durant la présente étude, des prélèvements de diatomées ont été intégrés dans les campagnes d'échantillonnage d'invertébrés de Hytec, comme le préconisait Lascombe (2011). « L'intérêt d'une investigation prospective sur ce nouveau compartiment biologique est majoritairement admis, en tant que contribution à une approche méthodologique susceptible de répondre aux besoins de suivi sur un site minier tel que Vale NC ainsi qu'aux préoccupations d'optimisation du dispositif. Outre ses performances pour le diagnostic de l'état général des rivières, les développements en cours d'application au suivi des pollutions toxiques et notamment métalliques à partir des taux d'apparition de formes tératogènes anormales, ouvrent en effet de larges perspectives pour son utilisation en Nouvelle-Calédonie » (Lascombe, 2011).

« Une recommandation est donc faite de procéder dès que possible à ces campagnes d'échantillonnage destinées, sinon à contribuer immédiatement aux diagnostics du suivi, au moins à inventorier les peuplements présents et, en relation avec les spécialistes, à tester concrètement la faisabilité pratique du projet, les conditions de sa mise en œuvre et les retours d'informations à en attendre » (Lascombe, 2011).

Les prélèvements ont été réalisés par Hytec au moyen d'une brosse à dents sur des « galets de cuirasse ou de périclites de taille proche de 10 cm de diamètre, pris en zone de courant (les stations échantillonnées présentaient une prédominance de substrats rocheux) » (Hytec & Mary, 2014). Les échantillons ont été traités par Michel COSTE, Directeur de Recherche Emérite de l'IRSTEA (groupement de Bordeaux, France). L'échantillonnage et le prétraitement des diatomées benthiques ont été réalisés conformément à la norme européenne EN 13946 de mai 2003 afin d'obtenir des échantillons adaptés pour quantifier l'abondance relative des taxons de diatomées benthiques présents (Hytec & Mary, 2014).

Sur 4 stations d'étude, des duplicata ont été réalisés en répartissant dans deux flacons, après agitation, le prélèvement de diatomées réalisé. Le tableau suivant présente la nomenclature des 25 observations considérées dans l'analyse statistique.

Remarque : Dans 2 stations, des blancs de terrain ont été réalisés (cf tableau 5.1) : il s'agit de l'échantillon correspondant au nettoyage à l'eau déminéralisée de la brosse à dent et de la boîte en polyéthylène ayant servi au prélèvement des diatomées.

Les résultats relatifs aux blancs de terrain apportant trop d'hétérogénéité dans le jeu de données (très faible effectif), ils n'ont donc pas été inclus dans les analyses statistiques multivariées.

Tableau 5.1 Prélèvements de diatomées réalisés par Hytec durant la présente étude (cf Hytec & Mary, 2014). La nomenclature des observations choisie pour le traitement statistique est précisée.

Rivière	Station	Novembre 2011 (ET1)	Juin 2012 (ME1)	Décembre 2012 / Janvier 2013 (ET2)	Juin 2013 (ME2)
Kwë	1-E	1-E ET1	1-E ME1	(2) 1-EDéc ET2 1-EJan ET2	1-E ME2
Kwë	1-E dupli	np	np	np	1-ED ME2
Trou Bleu	3-C	3-C ET1	3-C ME1	(2) 3-CDéc ET2 3-CJan ET2	3-C ME2
Creek Baie Nord	6-T	6-T ET1	6-T ME1	6-T ET2	6-T ME2
Creek Baie Nord	6-T dupli	6-TD ET1	6-TD ME1	np	np
Kaoris	KAOR200	KAOR200 ET1	KAOR200 ME1	KAOR200 ET2	KAOR200 ME2
Kuébini	KUEB300	KUEB300 ET1	np	KUEB300 ET2	np
Kuébini	KUEB300 dupli	np	np	KUEB300D ET2	np
Wajana	WAJA300	np (1)	np	WAJA300 ET2	np
Blanc		np	np		
Total		6	5	9	5

En grisé, les prélèvements réalisés.

D : duplicata ; Déc : décembre ; Jan : janvier

ET1 : étiage année 1 ; ME1 : moyennes eaux année 1 ; ET2 : étiage année 2 ; ME2 : moyennes eaux année 2

np : non prélevé

(1) sur le site Wajana WAJA300, le prélèvement de diatomées n'a pas pu être réalisé à l'étiage 2011, du fait de la difficulté d'accès à la rivière à cet endroit : vasque en aval d'une grande cascade fréquentée pour la baignade et en amont de la route. Le déplacement du site plus en aval à l'étiage 2012 a permis de réaliser le prélèvement (Hytec & Mary, 2014).

(2) dans un but comparatif, les diatomées ont été échantillonnées en décembre 2012 et en janvier 2013 sur les stations Kwë 1-E et Trou Bleu 3-C.

V.1.2. Le traitement des données floristiques

Une analyse en composantes principales centrée (ACP) a été réalisée sur les données floristiques recueillies dans les stations prospectées au cours des 4 campagnes d'échantillonnage (soit 25 observations au total). Les taxa rares, qui n'ont été recueillis qu'une seule fois sur l'ensemble des observations réalisées, ont été écartés de l'analyse. Pour réduire les disparités numériques entre les taxons à forts effectifs et les taxons à faibles effectifs, les données ont été transformées en $\ln(x+1)$.

De même que pour la macrofaune benthique, l'analyse a été complétée en considérant différents indices de diversité, calculés pour chacune des 25 observations au moyen du logiciel OMNIDIA (<https://hydrobio-dce.cemagref.fr/en-cours-deau/diatomees>). Les indices calculés sont européens, ils ont été retenus par Michel Coste à des fins de tests. Il s'agit de :

- **EFF : effectif compté**
- **S : Richesse spécifique** qui correspond au nombre total d'espèces identifiées

- **H' : l'indice de diversité de Shannon**, fondé sur le nombre d'espèces et la régularité de leur distribution de fréquence (cf chapitre IV). Un indice de Shannon élevé correspond à des conditions de milieu favorables permettant l'installation de nombreuses espèces. Généralement, la valeur de H' se situe entre 0,5 (très faible diversité) et 4,5 ou 5 (communautés les plus diversifiées).
- **E : indice de régularité de Pielou (ou équitabilité)** (cf chapitre IV). L'indice d'équitabilité E varie entre 0 et 1 : lorsqu'il est proche de 0, cela signifie qu'une espèce domine largement dans la communauté benthique ; lorsqu'il équivaut à 1, toutes les espèces ont la même abondance. Pour beaucoup d'écologistes, une équitabilité élevée est l'indice d'un peuplement équilibré.
- **IBD : Indice Biologique Diatomique (IBD)**.

L'indice Biologique Diatomées (IBD) est normalisé et a été établi à partir de jeux de données français (cf. Coste et al., 2009 et AFNOR, 2007). C'est un indice de qualité générale de l'eau basé sur la connaissance de l'écologie des espèces et de leurs abondances relatives dans un relevé. Il permet de définir le niveau moyen de pollution d'un cours d'eau, au moyen d'une note sur 20. Actuellement, sont pris en compte 2 245 taxons incluant les 1 478 taxons de la norme AFNOR (2007) et 767 synonymes récents ou anciens (non listés dans la norme). Malgré cet accroissement du nombre de taxons considérés, seules les formes les plus cosmopolites sont utilisées en Nouvelle-Calédonie. Compte tenu de la prédominance de ces formes dans les milieux les plus impactés, il a été nécessaire de prendre en compte les formes endémiques pour affiner le diagnostic (M. Coste, comm. pers.). Des couleurs sont associées aux valeurs de l'IBD selon le tableau suivant, en fonction de la qualité du milieu aquatique (<http://www.bourgogne.developpement-durable.gouv.fr/>).

Tableau 5.2 Qualité biologiques indiquées par l'Indice biologique diatomique (IBD)

IBD (sur 20)	IBD ≥ 17.0	17.0 > IBD ≥ 13.0	13.0 > IBD ≥ 9.0	9.0 > IBD ≥ 5.0	IBD < 5.0
Couleur	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Qualité	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise

- **IPS : Indice de Polluo-sensibilité spécifique**

L'Indice de Polluo-sensibilité Spécifique (IPS) mis au point par le Cemagref (1982) sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse est un indice fondé sur la pondération "abondance-sensibilité spécifique". Il présente l'avantage de prendre en compte la totalité des espèces présentes dans les inventaires et permet de donner une note à la qualité de l'eau variant entre 1 (eaux très polluées) et 20 (eaux pures) (cf <http://accs.ens-lyon.fr/evolution/biodiversite/dossiers-thematiques>). Les limites des classes de qualité sont les mêmes que celles de l'IBD (cf tableau 5.2). L'IPS est couramment utilisé en Europe et comporte à ce jour plus de 6 840 taxons retenus pour son calcul (y compris certains de la Nouvelle-Calédonie comme *Coxia guillaumini* ou *Brachysira* et *Achnantheidium*) (M. Coste, comm. pers.).

- **IDG : Indice Diatomique Générique**

L'IDG ou indice diatomique générique (cf Coste in Cemagref, 1982 et Coste in Rumeau & Coste, 1988) n'utilise que le niveau du genre. Il est donc relativement imprécis mais conserve le mérite d'utiliser pratiquement tous les taxons présents, à l'exception des genres les plus récemment décrits (M. Coste, comm. pers.). Il varie également entre 1 (eaux très polluées) et 20 (eaux pures).

- **Indice trophique de Rott et al. (1999) RTROP**

Cet indice est fondé sur les concentrations en phosphore total. Etabli à partir de l'étude de 225 rivières autrichiennes, il est utilisé dans le cadre de la DCE par de nombreux pays européens (M. Coste, comm. pers.). Rott *et al* (1999) considèrent 8 catégories trophiques en fonction des concentrations en phosphore total du milieu aquatique. Chaque taxon a une valeur d'affinité trophique variant entre 0,3 et 4 et une valeur indicatrice variant de 1 à 5. La note est d'autant plus élevée que l'eutrophisation⁸ est forte. Dans OMNIDIA, la note est transformée en note de qualité sur 20 par relation linéaire (M. Coste, comm. pers.).

Tableau 5.3 Qualités indiquées par l'indice trophique de Rott en fonction de la teneur des eaux en phosphore total

affinité trophique	Statut trophique	[TP] en µg/l	Note/20
≤0,5	Ultra-oligotrophe	≤5	19-20
0,6-1,0	oligotrophe	5 à 10	16,4-19
1,1-1,5	oligo-mésotrophe	10 à 20	13,8-16,3
1,6-2,0	mésotrophe	20-30	11 à 13,7
2,1-2,5	méso-eutrophe	30-50	8,3 à 11
2,6-3,0	eutrophe	50-100	6 à 8,2
3,1-3,5	eu-polytrophe	100-250	3,6 à 5,9
<3,5	polytrophe	>250	<3,6

- Indice saprobique de Rott *et al.* (1997) **RSAP**

Egalement mis au point sur les rivières autrichiennes, cette classification inspirée du système des saprobies⁹ est plus ou moins calée sur des données de DBO₅. Elle comporte 966 taxons affublés d'une valeur d'indication saprobique (SW =Saprobiewerte) variant de 1 à 3,8 et une valeur indicatrice (G) comprise entre 0,5 et 5. L'indice varie entre 1 (eaux très polluées) et 20 (eaux pures).

Tableau 5.4 Qualités indiquées par l'indice saprobique de Rott en fonction de la teneur des eaux en matières organiques

valeur d'indication saprobique	Statut de saprobie	qualité	NOTE qualité/20
1-1,3	1	xeno à oligosaprobe	18-20
1,4-1,7	1 à 2	oligo à βmésosaprobe	15-17,9
1,8-2,1	2	βmésosaprobe	12,5-14,9
2,2-2,5	2 à 3	β-alpha meso	9,8-12,4
2,6-3,0	3	alpha méso	6,4-9,7
3,1-3,4	3 à 4	alpha meso à polysap.	3,7-6,3
>3,5	4	polysaprobe	3,6-1

⁸ L'eutrophisation est définie comme l'enrichissement excessif des cours d'eau et des plans d'eau en éléments nutritifs, essentiellement le phosphore et l'azote qui constituent un véritable engrais pour les plantes aquatiques. Elle se manifeste par la prolifération excessive de végétaux (algues par exemple) dont la décomposition provoque une diminution notable de la teneur en oxygène du milieu. Il s'en suit, entre autres, une diversité animale et végétale amoindrie et des usages perturbés (alimentation en eau potable, loisirs,...) (<http://www.glossaire.eaufrance.fr/concept/eutrophisation>).

⁹ Le système des saprobies est une méthode biologique, basée sur l'étude de la faune et de la flore aquatique, qui sert à déterminer le degré de pollution d'une eau naturelle par les matières organiques. On distingue trois zones de saprobies : 1) la zone des polysaprobies, aux eaux fortement polluées. 2) la zone des mésosaprobies, aux eaux moyennement polluées, encore subdivisée en zone alpha (α) (moyennement polluée) et zone bêta (β) (faiblement polluée). 3) la zone des oligosaprobies, aux eaux non polluées (<http://supprem.unige.ch/glossary/>).

VI.2. Résultats

V.2.1. Analyse floristique

Au total, **162 espèces ont été identifiées par Michel Coste** pour les 25 observations. Soixante-quatre espèces ont été identifiées une seule fois et peuvent donc être considérés comme rares. Elles ont été écartées de l'analyse statistique. Le tableau analysé comprend donc 25 lignes (observations) et 98 colonnes (taxons).

La figure 5.1 présente les résultats de l'ACP centrée réalisée sur les données floristiques. Le graphe des valeurs propres indique que les 2 premiers axes expliquent environ 53 % de l'inertie totale des données (respectivement 42 % et 11% d'inertie pour les axes F1 et F2). Les éléments d'interprétation de l'analyse (contributions des espèces et des stations à la constitution des composantes principales) figurent en annexe 5.

Ici encore, Creek Baie Nord 6-T se différencie nettement des autres stations. La station, dont les observations ont une forte contribution pour l'axe F1, se caractérise par une dominance de taxons cosmopolites tels que *Eolimna minima* (EOMI) et *Nitzschia palea* (NPAL) et tératogènes¹⁰ tels que *Adlafia muscora* (AMUS), *Gomphonema lagenula* (GLGN) et *Ulnaria lanceolata* (ULAN). Quelques taxons endémiques y sont également bien représentés : *Eolimna neocaledonica* (EONE) et *Epithemia krammeri* (EKRM). L'ensemble de ces taxons ont une forte contribution pour l'axe F1 (cf annexe 5).

Les observations relatives aux stations Trou Bleu 3-C et Kwë 1-E (moyennes eaux et étiage 2011), celles de Kaoris KAOR200 et Kuébini KUEB300 de l'étiage 2011 présentent des peuplements relativement similaires avec plusieurs taxons endémiques bien représentés en effectif : il s'agit de *Achnanthydium pirogueanum* (ADPI), *Amphora dissimilis* (AMDI), *Coxia guillauminii* (CGUI), *Cymbella latarea* (CLTR), *Delicata costei* (DCOS), *Delicata gadjiana* (DGAJ), *Frustulia neocaledonica* (FNEO), *Frustulia peridotitica* (FPER), *Gomphonema ricardii* (GRIC, surtout dominant sur Trou Bleu 3-C) et *Brachysira angusta* (BANG, en densité plus élevée sur Kaoris KAOR200).

¹⁰ Dans les milieux de mauvaise qualité, des malformations cellulaires peuvent apparaître, donnant des formes anormales aux diatomées. On parle alors de diatomées « teratogènes ».

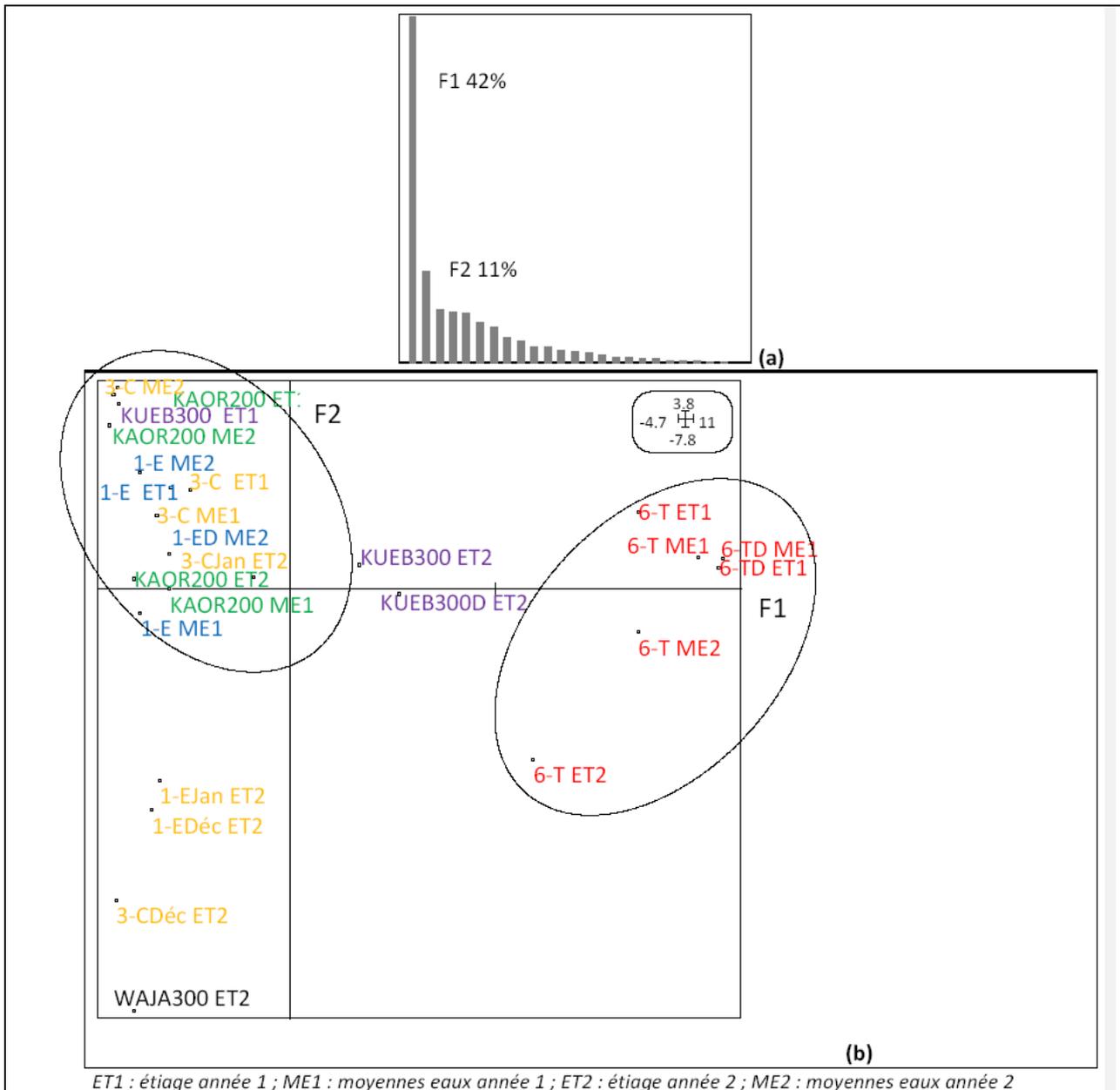
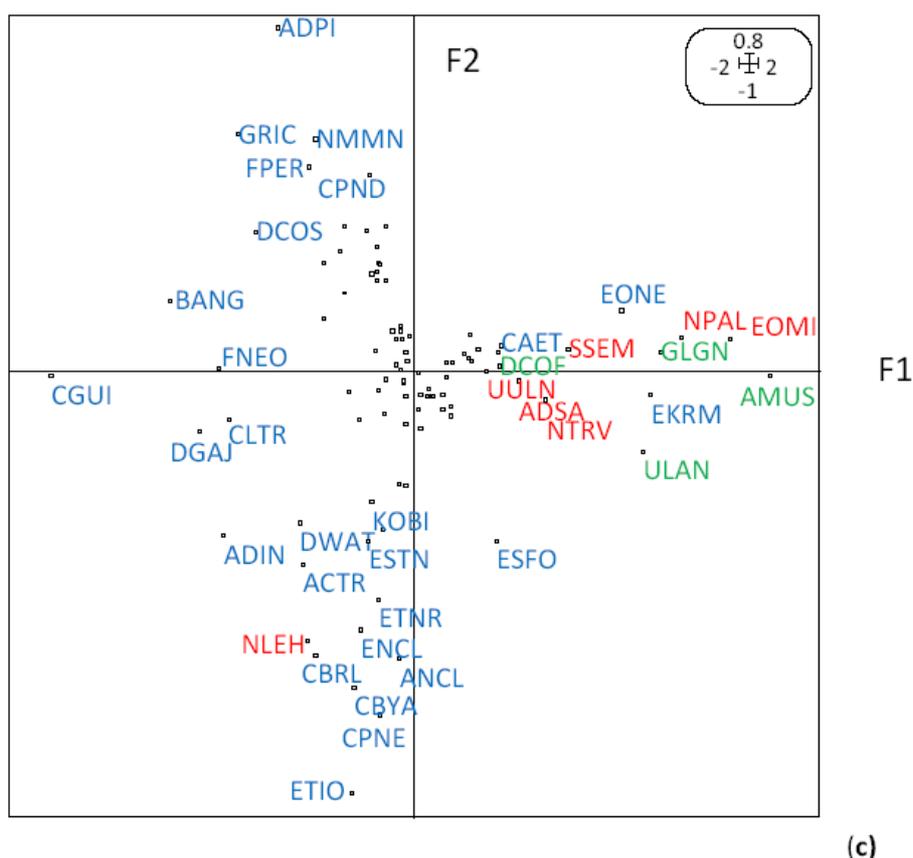


Figure 5.1 ACP centrée réalisée sur les données floristiques (25 observations x 98 espèces). (a) graphe des valeurs propres ; (b) position relative des observations sur le plan factoriel F1xF2 ;

Les 2 observations de Kuébini KUEB300 de l'étiage 2012 (dont le duplicata) se distinguent par des peuplements particulièrement pauvres (effectifs comptés de 24 et 12 individus avec une dizaine d'espèces recensées seulement). Ces données s'expliquent certainement par le fait que les prélèvements ont été effectués au niveau de la berge qui était immergée en raison de débits importants, alors qu'elle se trouve habituellement hors eau en période de décrue. A l'étiage 2011, des peuplements beaucoup plus diversifiés et comparables aux autres stations de référence ont été collectés (410 individus, 34 espèces).



ACTR *Achnanthisdium contrarea* (E) ; **ADIN** *Achnanthisdium indicatrix* (E) ; **ADPI** *Achnanthisdium pirogueanum* (E) ; **ADSA** *Achnanthisdium saprophilum* (C) ; **AMUS** *Adlafia muscora* (T) ; **ANCL** *Achnanthes neocaledonica* (E) ; **BANG** *Brachysira angusta* (E) ; **CAET** *Caloneis aequatorialis* (E) ; **CBRL** *Cymbella bourrellyi* (E) ; **CBYA** *Cymbopleura yateana* (E) ; **CGUI** *Coxia guillauminii* (E) ; **CLTR** *Cymbella latarea* (E) ; **CPND** *Cymbella pernodensis* (E) ; **CPNE** *Cymbopleura nekliaiensis* (E) ; **DCOF** *Diadmesmis confervacea* (T) ; **DCOS** *Delicata costei* (E) ; **DGAJ** *Delicata gadjana* (E) ; **DWAT** *Denticula watanabei* (E) ; **EKRM** *Epithemia krammeri* (E) ; **ENCL** *Encyonema neocaledonicum* (E) ; **EOMI** *Eolimna minima* (C) ; **EONE** *Eolimna neocaledonica* (E) ; **ESFO** *Encyonopsis subfonticola* (E) ; **ESTN** *Encyonema subtenerum* (E) ; **ETIO** *Encyonema thioense* (E) ; **ETNR** *Encyonema tenerum* (E) ; **FNEO** *Frustulia neocaledonica* (E) ; **FPER** *Frustulia peridotitica* (E) ; **GLGN** *Gomphonema lagenula* (T) ; **GRIC** *Gomphonema ricardii* (E) ; **NLEH** *Navicula lehmanniae* (C) ; **NMMN** *Navicula melanesica* (E) ; **NPAL** *Nitzschia palea* (C) ; **NTRV** *Navicula trivialis* (C) ; **SSEM** *Sellaphora seminulum* (C) ; **ULAN** *Ulnaria lanceolata* (T) ; **UULN** *Ulnaria ulna* (C)

Figure 5.1 (suite) ACP centrée réalisée sur les données floristiques (25 observations x 98 espèces). (c) position relative des espèces sur le plan factoriel F1xF2.

En bleu, les espèces endémiques (E) ; en rouge, les espèces cosmopolites (C) ; en vert les espèces tétratogènes (T).

Enfin, les observations de Kwë 1-E, Trou Bleu 3-C et Wajana WAJA300 de décembre 2012, ainsi que Kwë 1-E de janvier 2013 se différencient par la présence de quelques espèces endémiques peu représentées dans les autres stations. Il s'agit de *Encyonema neocaledonicum* (ENCL), *Encyonema thioense* (ETIO), *Denticula watanabei* (DWAT), *Cymbopleura yateana* (CBYA), *Cymbopleura nekliaiensis* (CPNE), *Cymbella bourrellyi* (CBRL), *Achnanthisdium indicatrix* (ADIN), *Achnanthisdium contrarea* (ACTR)). On y trouve également l'espèce cosmopolite *Navicula lehmanniae* (NLEH).

Pour rappel, l'échantillonnage de l'étiage 2012 prévu initialement le 11/12/2012 avait été différé pour les macro-invertébrés à la suite de fortes pluies observées le 10/12/2012 sur le site minier et industriel de Vale NC. L'échantillonnage de l'eau et des diatomées ayant démarré la veille sur les stations Kuébini KUEB300 et Wajana WAJA300, il a été poursuivi par Hytec en parallèle avec Vale NC pour l'eau et les diatomées sur les stations Creek Baie Nord 6-T, Kwë 1-E et Trou Bleu 3-C, mais les prélèvements de

faune benthique ont été réalisés en janvier 2013 avec Aqua Terra. Les diatomées ont été échantillonnées à nouveau en janvier 2013 afin de permettre une comparaison entre les deux campagnes réalisées à un mois d'intervalle.

En décembre 2012 et janvier 2013, les peuplements floristiques de Kwë 1-E restent comparables : globalement, ce sont les mêmes espèces qui dominent la communauté floristique. La richesse spécifique est cependant moindre en janvier 2013 (25 espèces contre 38 en décembre 2012). De même, pour Trou Bleu 3-C, 21 espèces ont été identifiées en janvier 2013 et 35 en décembre 2012. Cependant, pour cette station, les communautés floristiques sont globalement différentes aux 2 périodes : en janvier 2013, deux espèces dominent largement : *Gomphonema ricardii* (GRIC) et *Achnanthydium pirogeanum* (ADPI), constituant 84% de l'effectif compté, alors qu'en décembre 2012 la communauté floristique est beaucoup plus équilibrée (une dizaine d'espèces forment 80% de l'effectif compté).

Ces premiers résultats montrent donc sur Creek Baie Nord 6-T une abondance de formes tropicales (avec des formes anormales) (28 à 43% des effectifs) et d'espèces cosmopolites (30 à 56% des effectifs), ce qui traduit une perturbation du milieu. En effet, d'une manière générale, les pollutions sont souvent caractérisées par une abondance de formes cosmopolites (ex. *Eolimna minima*), saprophiles ou polluo-résistantes (*Nitzschia palea*, *N.amphibia*) avec parfois des formes anormales (M. Coste, comm. pers.). La figure 5.2 illustre bien la distribution des espèces endémiques, cosmopolites et tropicales au sein de chaque relevé. Elle montre que les peuplements floristiques des stations autres que Creek Baie Nord 6-T sont constitués majoritairement d'espèces endémiques (plus de 80% des effectifs).

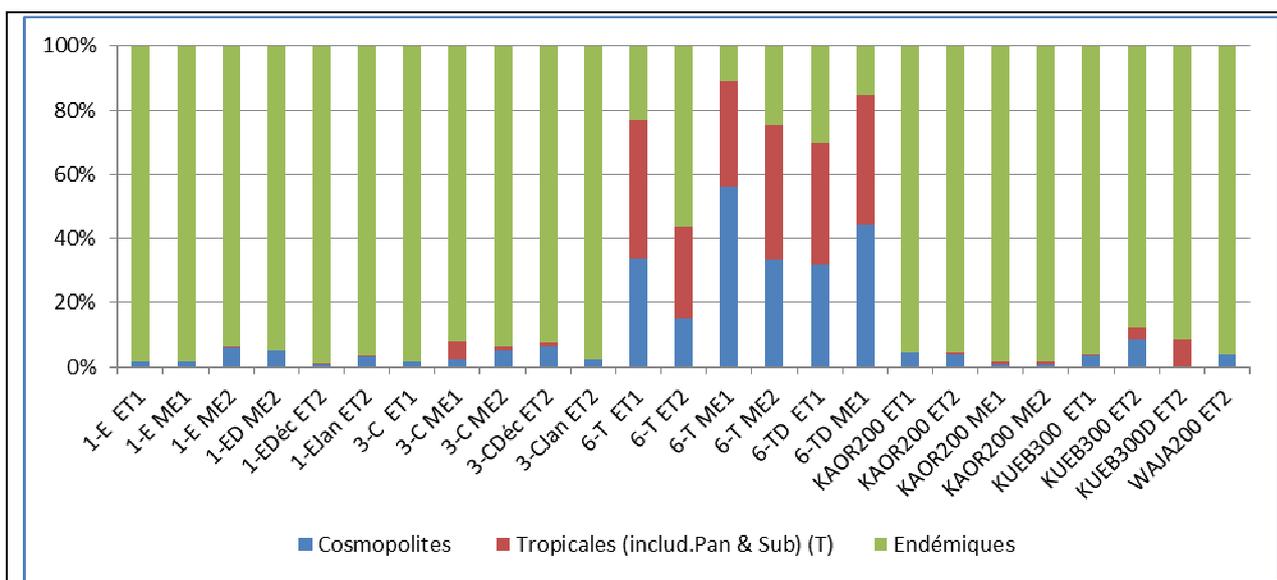


Figure 5.2 Abondances relatives des espèces cosmopolites, tropicales (tératogènes) et endémiques dans les peuplements floristiques des stations échantillonnées.

V.2.2. Diversité des peuplements floristiques (diatomées)

Le tableau 5.5 présente, pour les 25 observations, les indices diatomiques IPS, IDG, IBD, ainsi que les valeurs calculées pour les indices trophique (RTROP) et saprobique (RSAP) (ces données ont été communiquées par Michel Coste). Pour chaque indice, est mentionné le nombre de taxons qui a permis son calcul.

Les résultats indiquent :

- **pour la station Creek Baie Nord 6-T : une qualité moyenne à mauvaise** durant les périodes de moyennes eaux et à l'étiage 2011. L'IBD est compris entre 10 et 12/20 ce qui traduit une qualité moyenne, l'IPS varie entre 6 et 10/20 (mauvaise qualité), l'indice saprobique entre 8 et 10/20 (indiquant un milieu alpha mésosaprobe, c'est-à-dire moyennement pollué par les matières organiques), l'indice trophique entre 5 et 7/20 indique un milieu eutrophe. En décembre 2012, les valeurs calculées sont plus élevées : IPS de 13/20 ; IBD de 15,3/20 ; indice saprobique de 14,6/20 et indice trophique de 9,8/20 ; richesse spécifique de 39 espèces, ce qui traduit un milieu de meilleure qualité (bonne qualité par exemple avec l'IBD).
- **pour les quatre stations Kwë 1-E, Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200 et Kuébini KUEB 300¹¹ une excellente qualité biologique en général**, confortée par des IPS supérieurs à 19/20, des IBD variant entre 18,5 et 20/20, des IDG variant entre 17 et 20/20, des indices saprobiques et trophiques variant entre 15 et 20/20. Ces valeurs indiquent des milieux oligosaprobés (faiblement ou non pollués par les matières organiques) et oligotrophes à ultraoligotrophe (pauvres en nutriments).
- **pour la seule observation de Wajana WAJA300, une très mauvaise qualité biologique** (IBD de 1,9/20), due à la prise en compte d'une seule espèce pour le calcul de l'indice. Cette espèce halophile *Nitzschia brevissima* (NBRE) présente un profil de taxon saumâtre (M. Coste, comm. pers.).

Néanmoins, l'ensemble des valeurs d'indices calculées, et en particulier celles relatives à l'IBD, à l'indice saprobique et à l'indice trophique sont à considérer avec précaution étant donné souvent le faible nombre de taxons considérés pour leur calcul et le fait que ces indices développés en Europe ne prennent pas en compte les spécificités de la flore de la Nouvelle-Calédonie.

Ainsi, pour 19 observations sur 25 (i.e. les observations relatives à Kwë 1-E, Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200, Wajana WAJA300 et Kuébini KUEB300), moins de 5 taxons ont été utilisés pour le calcul des indices IBD, saprobique et trophique (cf tableau 5.5). Or, l'IBD devient "non calculable" (NC) en dessous de 5 taxons pris en compte (M. Coste, comm. pers.). Ces 19 relevés ne devraient donc pas avoir de note IBD. Cependant, dans le cadre de cette étude, M. Coste a réalisé le calcul pour tous les résultats où le nombre de taxons retenus par l'IBD était égal au moins à 1 (soit pour les 25 relevés), afin de tester cet indice européen sur la flore de Nouvelle-Calédonie.

Sur la station Creek Baie Nord 6-T, en revanche, 9 taxons (10 pour le duplicata) sont retenus par l'IBD en novembre 2011 (IBD=11,7 et 11,8/20), 18 taxons (15 taxons pour le duplicata) sont retenus en juin 2012 pour une même note (IBD=10,2/20), 20 taxons sont retenus en décembre 2012 (IBD=15,3/20) et 17 taxons en juin 2013 (IBD=10,3/20) (cf tableau 5.5). Les valeurs obtenues peuvent être considérées comme plus pertinentes, mais elles s'appuient uniquement sur les taxons cosmopolites en ignorant les endémiques dont le profil probable est plus proche des bonnes qualités et qui pourraient éventuellement améliorer la note (M. Coste, comm.pers.).

Ces essais réalisés par Michel Coste ont surtout pour objet de montrer l'inadéquation des méthodes existantes européennes et la nécessité de mise au point d'un indice adapté aux rivières de Nouvelle-Calédonie. L'OEIL participe actuellement à la conduite d'une étude pour le développement d'un indice diatomique en partenariat avec le CNRT, la DAVAR, IRSTEA, Asconit et Biotop. Les résultats de cette étude permettront de relativiser les résultats obtenus sur les cours d'eau étudiés dans le cadre de cette étude et peut être d'établir une valeur d'indice pour les prélèvements réalisés.

¹¹ Les résultats obtenus sur Kuébini KUEB300 à l'étiage 2012 ne sont pas considérés ici, en raison d'un échantillonnage inadéquat, localisé en zone de bordure et non pas dans le chenal principal du cours d'eau.

Tableau 5.5 Indices biologiques calculés pour les 25 observations collectées par Hytec (diatomées). Valeurs communiquées par M. Coste.

Station	DATE	Observation	IPS	Nb taxons utilisés pour le calcul de l'IPS = S	IBD09	Nb taxons utilisés pour le calcul de l'IBD	IDG	Nb taxons utilisés pour le calcul de l'IDG	RSAP	Nb taxons utilisés pour le calcul de RSAP	RTROP	Nb taxons utilisés pour le calcul de RTROP
KWĚ 1-E	21/11/2011	1-E ET1	19,6	29	15,8	3	19,2	29	19,7	2	18,4	2
KWĚ 1-E	20/06/2012	1-E ME1	19,8	25	20,0	2	18,9	25	19,7	2	18,2	2
KWĚ 1-E	11/12/2012	1-EDéc ET2	19,5	38	20,0	2	18,9	38	19,2	2	15,2	2
KWĚ 1-E	18/01/2013	1-EJan ET2	19,5	25	20,0	2	19,3	25	19,2	2	18,4	2
KWĚ 1-E	04/06/2013	1-E ME2	19,57	33	20,0	4	18,81	33	19,7	3	17,6	4
KWĚ 1-E (duplicata)	04/06/2013	1-ED ME2	19,72	33	10,8	3	19,15	33	20,0	2	19,5	3
TROU BLEU 3-C	21/11/2011	3-C ET1	19,8	25	18,7	3	19,4	25	19,2	4	16,3	4
TROU BLEU 3-C	20/06/2012	3-C ME1	19,6	30	20,0	2	17,6	30	16,8	3	18,4	2
TROU BLEU 3-C	11/12/2012	3-CDéc ET2	19,3	35	19,7	1	17,9	35	15,9	2	13,8	2
TROU BLEU 3-C	18/01/2013	3-CJan ET2	18,9	21	20,0	4	15,1	21	16,3	4	12,1	3
TROU BLEU 3-C	04/06/2013	3-C ME2	19,27	31	20,0	3	17,72	31	19,3	4	19,6	4
CREEK BAIE NORD 6-T	21/11/2011	6-T ET1	10,3	25	11,8	9	13,1	25	10,0	7	5,9	6
CREEK BAIE NORD 6-T (duplicata)	21/11/2011	6-TD ET1	9,0	21	11,7	10	12,6	21	8,9	7	5,5	7
CREEK BAIE NORD 6-T	20/06/2012	6-T ME1	6,3	24	10,2	18	9,7	24	8,7	12	5,1	12
CREEK BAIE NORD 6-T (duplicata)	20/06/2012	6-TD ME1	7,1	22	10,2	15	11,2	22	8,6	10	5,3	11
CREEK BAIE NORD 6-T	11/12/2012	6-T ET2	13,0	39	15,3	20	17,1	39	14,6	13	9,8	12
CREEK BAIE NORD 6-T	06/06/2013	6-T ME2	10,33	36	10,3	17	15,01	36	7,8	12	7,2	11
KAORIS KAOR200	21/11/2011	KAOR200 ET1	19,5	36	20,0	4	18,0	36	19,7	4	18,7	4
KAORIS KAOR200	20/06/2012	KAOR200 ME1	19,9	30	NC	0	19,2	30	15,9	1	10,5	1
KAORIS KAOR200	11/12/2012	KAOR200 ET2	19,7	28	20,0	1	18,8	28	19,5	2	19,9	2
KAORIS KAOR200	06/06/2013	KAOR200 ME2	19,6	26	20,0	2	18,91	26	17,8	3	18,8	3
KUÉBINI KUEB300	21/11/2011	KUEB300 ET1	19,3	34	20,0	2	17,3	34	19,5	4	18,5	4
KUÉBINI KUEB300	10/12/2012	KUEB300 ET2	16,3	10	8,3	3	17,8	10	10,0	2	6,3	1
KUÉBINI KUEB300 (duplicata)	10/12/2012	KUEB300D ET2	17,7	9	16,6	1	17,1	9	NC	0	NC	0
WAJANA WAJA300	10/12/2012	WAJA200 ET2	19,1	40	1,9	1	18,4	40	NC	0	6,3	1

S : richesse spécifique (elle correspond également au nombre de taxons ayant permis le calcul de l'IPS) ; IPS : Indice de polluo-sensibilité spécifique ; IBD : Indice biologique diatomique ; IDG : Indice diatomique générique ; RSAP : Indice saprobique ; RTROP : indice trophique ; NC : non calculable

ET1 : étiage année 1 ; ME1 : moyennes eaux année 1 ; ET2 : étiage année 2 ; ME2 : moyennes eaux année 2

A noter que l'indice IPS, pour lequel les espèces endémiques ont été prises en compte en leur affectant des notes proches de celles de taxons connus les plus fréquemment associés, donne des résultats similaires à l'IBD : les observations relatives à Kwë 1-E, Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200, Wajana WAJA300 et Kuébini KUEB300 présentent toutes un indice IPS compris entre 17 et 20/20, ce qui traduit une très bonne qualité biologique. Cela s'explique par le fait que les scores affectés aux taxons endémiques par Michel Coste sont majoritairement proches des meilleures qualités, i.e. de 5/5 (M. Coste, comm. pers.). La station Creek Baie Nord 6-T se distingue avec des indices compris entre 7 et 13 (qualité mauvaise à moyenne).

Il faut donc utiliser avec prudence ces premiers essais d'évaluation de la qualité des eaux en attendant que les prospections en cours s'appuyant sur les caractéristiques éco-régionales et la physico-chimie des eaux puissent être analysées et exploitées (M. Coste, comm. pers.).

Au tableau 5.6 figurent la richesse spécifique, l'indice de diversité de Shannon et l'équitabilité calculée pour les 25 observations (données communiquées par Michel Coste).

Tableau 5.6 Indices de diversité calculés pour les 25 observations collectées par Hytec (diatomées). Valeurs communiquées par M. Coste

Station	DATE	Observation	Richesse spécifique S	Effectif	Indice de Shannon H'	Equitabilité E
KWË 1-E	21/11/2011	1-E ET1	29	475	2,55	0,52
KWË 1-E	20/06/2012	1-E ME1	25	405	2,96	0,64
KWË 1-E	11/12/2012	1-EDéc ET2	38	409	2,94	0,56
KWË 1-E	18/01/2013	1-EJan ET2	25	408	3,15	0,68
KWË 1-E	04/06/2013	1-E ME2	33	427	2,98	0,59
KWË 1-E (duplicata)	04/06/2013	1-ED ME2	33	395	2,77	0,55
TROU BLEU 3-C	21/11/2011	3-C ET1	25	405	2,22	0,48
TROU BLEU 3-C	20/06/2012	3-C ME1	30	409	3,37	0,69
TROU BLEU 3-C	11/12/2012	3-CDéc ET2	35	430	3,93	0,77
TROU BLEU 3-C	18/01/2013	3-CJan ET2	21	404	1,89	0,43
TROU BLEU 3-C	04/06/2013	3-C ME2	31	427	3,67	0,74
CREEK BAIE NORD 6-T	21/11/2011	6-T ET1	25	417	3,18	0,68
CREEK BAIE NORD 6-T (duplicata)	21/11/2011	6-TD ET1	21	420	3,25	0,74
CREEK BAIE NORD 6-T	20/06/2012	6-T ME1	24	423	3,14	0,68
CREEK BAIE NORD 6-T (duplicata)	20/06/2012	6-TD ME1	22	426	3,16	0,71
CREEK BAIE NORD 6-T	11/12/2012	6-T ET2	39	426	3,26	0,62
CREEK BAIE NORD 6-T	06/06/2013	6-T ME2	36	435	3,81	0,74
KAORIS KAOR200	21/11/2011	KAOR200 ET1	36	412	3,91	0,76
KAORIS KAOR200	20/06/2012	KAOR200 ME1	30	425	2,20	0,45
KAORIS KAOR200	11/12/2012	KAOR200 ET2	28	438	2,82	0,59
KAORIS KAOR200	06/06/2013	KAOR200 ME2	26	490	3,04	0,65
KUÉBINI KUEB300	21/11/2011	KUEB300 ET1	34	410	4,00	0,79
KUÉBINI KUEB300	10/12/2012	KUEB300 ET2	10	24	2,92	0,88
KUÉBINI KUEB300 (duplicata)	10/12/2012	KUEB300D ET2	9	12	3,08	0,97
WAJANA WAJA300	10/12/2012	WAJA200 ET2	40	448	4,07	0,76

Valeurs communiquées par Michel Coste

ET1 : étiage année 1 ; ME1 : moyennes eaux année 1 ; ET2 : étiage année 2 ; ME2 : moyennes eaux année 2

Les résultats indiquent :

- **des richesses taxonomiques élevées en décembre 2012** pour Kwë 1-E (38 taxons), Trou Bleu 3-C (35 taxons), Creek Baie Nord 6-T (39 taxons), Wajana WAJA300 (40 taxons). Elles sont plus faibles en période de moyennes eaux (20 à 30 taxons) pour ces mêmes stations.

En particulier, les valeurs les plus faibles sont observées sur Creek Baie Nord 6-T dupli pour les campagnes de prélèvement de novembre 2011 et juin 2012 avec 21 et 22 espèces respectivement. La comparaison des richesses spécifiques obtenues pour les stations Trou Bleu 3-C et Kwë 1-E échantillonnées à 1 mois d'intervalle, en décembre 2012 et janvier 2013, montre une chute des richesses spécifiques qui passent de 35 à 21 pour Trou Bleu 3-C et de 38 à 25 pour Kwë 1-E.

- **des valeurs d'équitabilité traduisant des peuplements relativement équilibrés** : elles se situent entre 0,5 et 0,7 sur Kwë 1-E et entre 0,6 et 0,8 sur Trou Bleu 3-C, Creek Baie Nord 6-T, Wajana WAJA300, Kaoris KAOR200 et Kuébini KUEB300.
- **des indices de Shannon qui indiquent des communautés moyennement diversifiées sur Kwë 1-E** (les valeurs se situent 2,5 et 3,15) et bien diversifiées en général sur Trou Bleu 3-C, Creek Baie Nord 6-T, Wajana WAJA300, Kaoris KAOR200 et Kuébini KUEB30 (valeurs entre 3 et 4). Pour les observations suivantes : Trou Bleu 3-C à l'étiage 2011 et en janvier 2013, Kaoris KAOR200 en juin 2012, l'indice de Shannon, plus faible, a été proche de 2, en raison de la dominance de deux ou trois espèces qui forment l'essentiel de la communauté floristique dans ces relevés.

En particulier, les diversités les plus fortes comprises entre 3,91 et 4,07, sont observées à l'étiage : en novembre 2011, sur Kaoris KAOR200 et Kuébini KUEB300 et, en décembre 2012, sur Trou Bleu 3-C et Wajana WAJA300. La diversité varie en fonction de la saison pour ces stations et la valeur la plus faible est observée sur Trou Bleu 3-C le 18/01/2013 (1,89) où *Coxia guillaumii* et *Brachysira angusta* représentent 80% du peuplement alors qu'elle était de 3,93 en décembre 2012. Sur cette rivière (Trou Bleu), les prélèvements sont situés sous ombrage et en faciès lotique et, de plus, en limite de remontée des eaux salées, ce qui pourrait expliquer cette composition variable. Cependant durant les campagnes de juin et décembre 2012, les prélèvements ont été réalisés au même endroit et présentent des valeurs d'indice plus fortes (3,37 et 3,93 respectivement). De plus, en janvier et juin 2013, les prélèvements ont été volontairement effectués plus en amont de la station initiale (afin de se situer hors remontées d'eaux salées). Cette faible valeur de diversité spécifique obtenue pour Trou Bleu 3-C en janvier 2013 associée à la plus faible valeur d'équitabilité (0,43) reste difficile à expliquer.

En revanche, on constate que sur les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E, qui subissent *a priori* le plus de perturbations, les valeurs de diversité varient très peu en fonction de la saison et restent proche de 3 pour la diversité spécifique (Shannon) et de 0,7 pour l'équitabilité. En particulier, la station Creek Baie Nord 6-T est un bon exemple de station dégradée avec la dominance de formes polluo-résistantes aux métaux lourds comme *Eolimna minima* et la présence de formes tétratogènes, saprophiles (*Nitzschia palea*) ou hétérotrophes à l'azote (*Gomphonema lagunela*) (M. Coste, comm. pers.).

L'analyse des données floristiques (diatomées) montre que :

- la station Creek Baie Nord 6-T se distingue par des peuplements floristiques constitués principalement de taxons cosmopolites dont certains avec des formes tératogènes (anormaux), ce qui traduit une perturbation du milieu. Les indices de diversité (Shannon, équitabilité) traduisent une qualité moyenne à mauvaise durant les périodes de moyennes eaux et à l'étiage 2011, mais bonne à l'étiage 2012 ;
- les peuplements floristiques des autres stations (Kwë 1-E, Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200, Wajana WAJA300 et Kuébini KUEB300) sont constitués majoritairement d'espèces endémiques (plus de 80% des effectifs). Les indices de diversité calculés sont élevés, indiquant en général une très bonne qualité du milieu.

Outre les difficultés taxinomiques évoquées précédemment, la prédominance de formes endémiques dont l'écologie est encore peu ou mal connue rend difficile toute tentative de diagnostic de qualité à partir des diatomées.

Une prospection plus élargie d'une grande variété de sites et de conditions est nécessaire pour obtenir une gamme de réponse plus large. Les caractéristiques géologiques de la Grande Terre avec la prédominance de péridotites privilégient sans doute une microflore très adaptée et plutôt de bonne qualité et il est souhaitable d'établir un référentiel fiable par un recensement systématique des espèces et l'étude de leurs préférences écologiques.

L'OEIL participe actuellement à la conduite d'une étude pour le développement d'un indice diatomique en partenariat avec le CNRT, la DAVAR, IRSTEA, Asconit et Biotop. Les résultats de cette étude permettront de relativiser les résultats obtenus sur les cours d'eau étudiés dans le cadre de cette étude et peut être d'établir une valeur d'indice pour les prélèvements réalisés.

Chapitre VII - Conclusions

Cette étude à l'initiative de l'OEIL avait pour principaux objectifs de : 1/ mettre en œuvre un **suivi comparatif** de la qualité de 3 stations de rivières régulièrement suivies par Vale NC et pour certaines impactées directement par le projet minier et industriel (rivière Kwë, rivière du Trou Bleu et Creek Baie Nord) ; 2/ réaliser **un état de référence**, sur deux années, de la qualité de 6 stations dont les 3 précitées et 3 autres situées dans des cours d'eau en limite de la zone du projet minier et industriel et, *a priori*, non encore impactés par ce dernier (Ruisseau des Kaoris, rivière Kuébini et rivière Wajana).

L'analyse des données mésologique a mis en évidence une **typologie des stations fondée sur leurs caractéristiques mésologiques**. Les paramètres déterminants sont la superficie du bassin versant au droit de la station, la pente moyenne du cours d'eau à la station, la végétation des berges qui conditionne l'ombrage du cours d'eau, les largeurs du lit mouillé et du lit mineur, la présence de granulats fins (gravier et latérites). De plus, les caractéristiques mésologiques des stations présentent peu de variabilité temporelle et les stations impactées (Kwë 1-E et Creek Baie Nord 6-T) se différencient bien d'un point de vue mésologique des stations de référence Kaoris KAOR200, Trou Bleu 3-C et Wajana WAJA300.

D'un point de vue physico-chimique, les analyses montrent:

- une **variabilité temporelle** de la qualité des eaux des rivières : elles sont plus chaudes et moins oxygénées à l'étiage qu'en période de moyennes eaux. De plus, les teneurs en aluminium et fluorures dissous sont en général plus élevées en période de moyennes eaux ;
- une **variabilité spatiale** de la qualité des eaux des rivières étudiées : la station Creek Baie Nord 6-T se distingue par des eaux plus minéralisées (conductivité, teneurs en ions majeurs et silicium plus élevées) et des concentrations en pigments chlorophylliens plus importantes ;
- que les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E se différencient des stations de référence Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200, Kuébini KUEB300 et Wajana WAJA300 par des teneurs en sulfates dissous (SO_4) beaucoup plus importantes, ainsi que des concentrations en magnésium (Mg) et potassium (K) plus élevées ;
- la particularité de l'étiage 2012, marqué par des débits importants et des pluies régulières, au cours duquel des teneurs plus élevées en DCO, MES, turbidité et certains métaux lourds dissous (étain, fer, mercure) ont été mesurées, en particulier dans les stations impactées ;
- que l'analyse statistique discrimine peu les observations de Vale NC pour les 3 stations Creek Baie Nord 6-T, Trou Bleu 3-C et Kwë 1-E en raison de valeurs manquantes et du fait que la limite de détection des analyses de Vale NC est trop élevée, ce qui conduit à une homogénéité des données.

D'un point de vue faunistique, là encore, Creek Baie Nord 6-T se distingue des autres stations suivies par des peuplements faunistiques peu diversifiés, constitués principalement de taxons ubiquistes à densités élevées. Les résultats faunistiques de Hytec et Ethyc'O sur Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200 et Kuébini KUEB300 se différencient bien de ceux des stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E par des richesses taxonomiques et des indices de diversité relativement importants. En revanche, les résultats des prélèvements faunistiques réalisés par Aqua Terra sur Kwë 1-E et sa station de référence Trou Bleu 3-C sont relativement similaires, caractérisés par de faibles abondances, une faible richesse taxonomique, des indices de diversité peu élevés. Aucune des stations étudiées (Kaoris KAOR200, Trou Bleu 3-C, Kuébini KUEB300) ne présente une bonne qualité biologique malgré des richesses taxonomiques et des indices de diversité plus élevés que celles calculées sur les stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E.

Enfin, **d'un point de vue floristiques (diatomées)**, les indices de diversité et biologiques calculés sur les résultats sont relativement élevés, indiquant une très bonne qualité en général pour les stations Kwë 1-E, Trou Bleu 3-C, Kaoris KAOR200, Wajana WAJA300 et Kuébini KUEB300. Sur Creek Baie Nord 6-T, en revanche, la qualité biologique est passable à mauvaise. Néanmoins, aucun des indices utilisé ne discrimine correctement les observations. Les méthodes existantes européennes sont inadéquates pour les rivières de Nouvelle-Calédonie, ce qui met en exergue la nécessité de mise au point d'un indice biologique adapté.

Le tableau suivant présente **l'état de référence des stations suivies d'un point de vue mésologique, physico-chimique, faunistique et floristique** (novembre 2011 à juin 2013).

Tableau 6.1 Etat de référence des stations suivies d'un point de vue mésologique, physico-chimique, faunistique et floristique (novembre 2011 à juin 2013)

	Mésologie	Physico-chimie des eaux	Physico-chimie des sédiments	Macrofaune benthique	Diatomées	Ripisylve
Stations impactées (catégorie 1)						
<p>Creek Baie Nord 6-T</p> <p>Se distingue des autres stations pour tous les critères</p>	<p>En maquis minier, non ombragée ; fonds fortement colmatés (en milieux lotique et lentique) ; petite superficie du bassin versant au droit de la station (750 ha) ; lit mouillé et lit mineur de faibles largeurs (inférieures à 6 mètres).</p>	<p>Eaux moyennement minéralisées (conductivité comprise entre 120 et 155 μS/cm, supérieure aux autres stations) et teneurs en ions majeurs (magnésium, potassium, sodium, chlorures), silicium et chlorophylle a relativement élevées par rapport aux autres stations suivies. Fortes teneurs en sulfates dissous (> 5 mg/l en SO₄) et teneurs en nitrates comprises entre 0,3 et 0,6 mg/l en NO₃.</p>	<p>Analyses réalisées sur deux campagnes seulement (novembre 2011 et décembre 2012) montrent la présence de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - teneur importante en métaux associés au fond géochimique des roches : chrome, fer, nickel ; - matières organiques (COT) et éléments métalliques (Al, Ba, Cu, Mn, Mb, Pb, Zn, Co et Bo) ; - titane et vanadium ; - substances toxiques (arsenic As et mercure Hg), pesticide (dichlorvos) et HAP (phénanthrène et pyrène) (en décembre 2012, composés organiques halogénés adsorbables (AOX) pour les 2 campagnes ; 	<p>Peuplements peu diversifiés, dominés par des taxons ubiquistes, présents généralement en densité élevée (insectes diptères Simuliidae et Chironomidae Orthocladiinae et Tanytarsini, trichoptères Hydroptilidae et Leptoceridae <i>Oecetis sp.</i>). Les indices IBNC et IBS traduisent une mauvaise qualité biologique en général.</p>	<p>Peuplements floristiques constitués principalement de taxons cosmopolites avec des formes anormales, ce qui traduit une perturbation du milieu. Les indices de diversité et biologiques traduisent une qualité moyenne à mauvaise durant les périodes de moyennes eaux et à l'étiage 2011, mais bonne à l'étiage 2012.</p>	<p>Présence sur les berges de 8 espèces introduites (individus isolés) en novembre 2011, 10 espèces en décembre 2012 dont populations de 3 espèces classées envahissantes par le code de l'environnement de la province Sud (<i>Cyperus sp.</i>, <i>Pluchea odorata</i> et <i>Polygala paniculata</i>) semblent se densifier.</p>

	Mésologie	Physico-chimie des eaux	Physico-chimie des sédiments	Macrofaune benthique	Diatomées	Ripisylve
Stations impactées (catégorie 1)						
Kwè 1-E	En maquis minier, non ombragée ; fonds fortement colmatés en milieu lotique ou lentique. Superficie du bassin versant au droit de la station relativement importante (3 500 ha), lits mouillés et mineurs larges.	Eaux légèrement turbides (> 4 NTU), moyennement minéralisées (conductivité de 130 µS/cm à l'étiage et de 100 µS/cm environ en moyennes eaux) ; teneurs en ions majeurs (magnésium, potassium) relativement élevées par rapport aux autres stations suivies. Teneurs en sulfates dissous importantes hors étiage 2011 (> 5,63 mg/l en SO ₄) et en nitrates comprises entre 0,4 et 1,2 mg/l en NO ₃ .	Pas de prélèvement de sédiments.	Peuplements benthiques caractérisés en général par de faibles densités (moins de 4 000 individus par m ²), une faible richesse taxonomique (une dizaine de taxons), de faibles indices de diversité. L'IBS indique une qualité biologique mauvaise à très mauvaise.	Peuplements floristiques constitués majoritairement d'espèces endémiques (plus de 80% des effectifs). Les indices de diversité et biologiques calculés sont élevés, indiquant en général une très bonne qualité du milieu, mais peu adaptés à la Nouvelle-Calédonie, ils sont à considérés avec prudence.	Absence d'espèce introduite sur rive droite (rive gauche non accessible).

	Mésologie	Physico-chimie des eaux	Physico-chimie des sédiments	Macrofaune benthique	Diatomées	Ripisylve
Stations de référence (catégorie 3)						
<u>Kaoris KAOR200</u>	Non ombragée et en maquis minier ; fonds fortement colmatés (pourcentage de latérites important) ; de largeur importante (50 m environ pour le lit mineur et 30 m pour le lit mouillé). Superficie au droit de la station moyenne (1400 ha).	Faible conductivité en moyennes eaux (70 à 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$), plus forte à l'étiage (100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ environ) ; faibles teneurs en ions majeurs et en chlorophylle a (<0,05 $\mu\text{g}/\text{l}$). Eaux limpides (turbidité <1 NTU) ; teneurs en sulfates dissous inférieures à 2 mg/l et en nitrates inférieures à 0,2 mg/l en général.	Pas de prélèvement de sédiments.	Richesse taxonomique intermédiaire (une vingtaine de taxons), diversité faunistique moyenne. L'IBS indique une qualité biologique passable quelque en 2013.	Peuplements floristiques constitués majoritairement d'espèces endémiques (plus de 80% des effectifs). Les indices de diversité et biologiques calculés sont élevés, indiquant en général une très bonne qualité du milieu, mais peu adaptés à la Nouvelle-Calédonie, ils sont à considérés avec prudence.	Absence d'espèce introduite sur rive droite (rive gauche non accessible).
<u>Trou Bleu 3-C</u>	En environnement préservé (forêt primaire sur sol minier), lit de la rivière bien ombragé, substrat faiblement colmaté. Petite superficie de bassin versant au droit de la station (700 ha).	Conductivité faible en moyennes eaux (70 à 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$), moyenne en étiage (100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ environ) ; faibles teneurs en ions majeurs, en nitrates (<0,2 mg/l), en sulfates dissous ($\leq 2,2$ mg/l), en chlorophylle a (<0,05 $\mu\text{g}/\text{l}$). Eaux limpides	Pas de prélèvement de sédiments.	Structuration des communautés benthiques fortement dépendante du débit et du régime des précipitations : richesse taxonomique et diversité faunistique faibles en période de moyennes eaux (débits élevés peu favorables au développement de la faune benthique). A l'étiage, richesse taxonomique et diversité faunistique moyennes. L'IBS traduit une qualité biologique passable en général.	Peuplements floristiques constitués majoritairement d'espèces endémiques (plus de 80% des effectifs). Les indices de diversité et biologiques calculés sont élevés, indiquant en général une très bonne qualité du milieu, mais peu adaptés à la Nouvelle-Calédonie, ils sont à considérés avec prudence.	Présence sur les berges de 5 espèces introduites (individus isolés) en novembre 2011, 6 espèces en décembre 2012 dont populations de 3 espèces classées envahissantes par le code de l'environnement de la province Sud (<i>Cyperus sp.</i> , <i>Pluchea odorata</i> et <i>Polygala paniculata</i>) semblent se densifier.

	Mésologie	Physico-chimie des eaux	Physico-chimie des sédiments	Macrofaune benthique	Diatomées	Ripisylve
Stations de référence (catégorie 3) (suite)						
<u>Wajana WAJA300</u>	En environnement préservé (forêt primaire sur sol minier), lit de la rivière bien ombragé, substrat faiblement colmaté (faible pourcentage de latérites en milieu lotique ou lentique). Petite superficie de bassin versant au droit de la station (500 ha).	Conductivité faible en moyennes eaux (70 à 80 $\mu\text{S/cm}$), plus forte en étiage (100 $\mu\text{S/cm}$ environ) ; faibles teneurs en ions majeurs, en chlorophylle a (<0,05 $\mu\text{g/l}$), en nitrates (<0,2 mg/l), en sulfates dissous (<2 mg/l). Eaux limpides.	Pas de prélèvement de sédiments.	Aucune donnée acquise dans le cadre de ce travail	Peuplements floristiques constitués majoritairement d'espèces endémiques (plus de 80% des effectifs). Les indices de diversité et biologiques calculés sont élevés, indiquant en général une très bonne qualité du milieu, mais peu adaptés à la Nouvelle-Calédonie, ils sont à considérés avec prudence.	Absence d'espèce introduite berges
<u>Kuébini KUEB300</u>	En maquis minier, non ombragée ; fonds moyennement colmatés. Superficie du bassin versant au droit de la station relativement importante (3 750 ha), lits mouillés et mineurs larges (largeur moyenne du lit mouillé comprise entre 10 et 20 mètres ; largeur du lit mineur de 25 environ).	Conductivité faible en moyennes eaux (70 à 80 $\mu\text{S/cm}$), plus importante en étiage (100 $\mu\text{S/cm}$ environ) ; faibles teneurs en ions majeurs, en chlorophylle a (<0,05 $\mu\text{g/l}$), en nitrates (< 0,2 mg/l) et en sulfates dissous (<2 mg/l). Eaux limpides.	Pas de prélèvement de sédiments.	Aucune donnée acquise dans le cadre de ce travail	Peuplements floristiques constitués majoritairement d'espèces endémiques (plus de 80% des effectifs). Les indices de diversité et biologiques calculés sont élevés, indiquant en général une très bonne qualité du milieu, mais peu adaptés à la Nouvelle-Calédonie, ils sont à considérés avec prudence.	Absence d'espèce introduite sur rive gauche (rive droite non accessible).

Chapitre VIII - Recommandations

VIII.1. Typologie mésologique des stations d'étude et état de référence

Pour Lascombe (2011), l'un des points cruciaux du suivi de la qualité des eaux dans le périmètre d'influence du projet minier et industriel de Vale NC était « **la caractérisation typologique des milieux concernés, avec acquisition systématique de données de références** (biologiques, mais aussi physico-chimiques et hydrologiques, élargies à la dynamique sédimentaire, et intégrant les variations interannuelles). **Ces données doivent permettre des comparaisons spatiales et temporelles fiables avec les milieux influencés** ».

Dans le cadre de notre étude, une typologie mésologique des 6 stations d'étude a pu être établie, fondée sur la superficie du bassin versant, la pente moyenne du cours d'eau à la station, la végétation des berges, l'ombrage du cours d'eau, les largeurs du lit mouillé et du lit mineur et la représentativité des sédiments fins dans le lit mouillé (graviers et latérites).

De même, un état de référence physico-chimique et biologique a pu être proposé pour chaque station sur la base de données acquises au cours de 4 campagnes de prélèvements, réparties entre l'étiage 2011 et la période de moyennes eaux 2013 (novembre 2011, juin 2012, décembre 2012/janvier 2013 et juin 2013), le but étant d'acquérir des données durant deux périodes hydrologiquement bien distinctes, l'étiage et les moyennes eaux. **Les préconisations de la DCE insistent en effet sur l'échantillonnage en période de basses eaux (étiage)** (cf circulaire DCE 2007/22 du 11 avril 2007). Durant cette saison, la diversité biologique est maximale et les polluants générés par les activités anthropiques sont les plus concentrés.

Dans le cadre de notre étude, la campagne réalisée en décembre 2012/janvier 2013 ne concernait nullement une période de basses eaux. Au contraire, les débits étaient élevés en décembre 2012, la saison pluvieuse débutant, rendant les échantillonnages difficiles sinon impossibles, imposant par exemple un report de la campagne d'échantillonnage du benthos en janvier 2013 aux deux prestataires Hytec et Aqua Terra. Les données faunistiques collectées traduisent d'ailleurs les conditions hydrologiques de cette période pluvieuse (peuplements benthique caractérisés par de faibles densités et richesses taxonomiques aux stations échantillonnées en janvier 2013). **Il y a donc eu réellement 3 périodes de prélèvements en période de moyennes (hautes) eaux et une seule en basses eaux (novembre 2011).**

Recommandations :

Il est essentiel d'échantillonner eau, sédiments et benthos au moins une fois par an en étiage vrai, saison critique puisque les polluants sont concentrés et la faune benthique plus riche et diversifiée. Il est conseillé pour les prochaines campagnes de placer la période d'échantillonnage de l'étiage entre octobre et fin novembre, afin d'éviter le début de la saison pluvieuse qui peut survenir en décembre et maintenir ainsi une continuité dans les données collectées.

De ce fait, le présent état de référence est incomplet puisqu'il manque les données relatives à une seconde période d'étiage. Cela met en exergue la nécessité de poursuivre les échantillonnages en période de basses eaux 2013 afin d'acquérir de la donnée complémentaire d'un point de vue physico-chimique et biologique.

VIII.2. Le choix des stations de référence

Les stations de référence sont définies comme étant minimalement exposées à l'activité humaine et **représentatives des cours d'eau présents dans la région étudiée**. Selon la région, la station choisie sera donc peu altérée ou la moins altérée possible par les activités humaines.

Dans son rapport, Lascombe (2011) insiste sur l'acquisition de données complémentaires (typologiques, mésologiques, physico-chimiques, biologiques) sur les cours d'eau pressentis comme milieux de références non impactés, « durant deux campagnes caractéristiques des écarts saisonniers, en concomitance avec les interventions sur le Creek de la Baie Nord et la Kwé ». Selon cet auteur, « Il reste à valider la pertinence de ces références à partir d'investigations complémentaires de caractérisation typologique et d'inventaires biologiques, à un niveau de détermination à l'espèce ».

Dans le cadre de ce travail, les stations de référence pressenties ont été Trou Bleu 3-C et Kaoris KAOR200 (respectivement pour Kwé 1-E et Creek Baie Nord 6-T).

VIII.2.1. Kwé 1-E / Trou Bleu 3-C

Peu de paramètres mésologiques sont comparables entre les deux stations. Elles s'opposent tant au niveau morphométrique (largeurs du lit mouillé et du lit mineur, superficie des bassins versants, ordre de drainage au droit de la station) qu'au niveau des conditions environnementales à la station (type de végétation des rives, pourcentage de recouvrement par la végétation riveraine, ombrage du cours d'eau) (cf tableau 2.4).

Ces résultats suggèrent d'associer à Kwé 1-E une station de référence avec des caractéristiques mésologiques proches (lits mouillé et mineur relativement larges, taille de bassin versant à la station et ordre de drainage comparables). Cette station de référence pourrait se situer sur un cours d'eau adjacent à la rivière Kwé (Kuébini KUEB300 est proche d'un point de vue mésologique et pourrait convenir sous réserve de vérifier l'éventuel impact du plan minier de Vale NC dans sa version de 2014, notamment par voie souterraine) ou dans le même cours d'eau dans la mesure où elle est exempte de perturbation anthropique majeure.

VIII.2.2. Creek Baie Nord 6-T / Kaoris KAOR200

Les caractéristiques morphométriques de Kaoris KAOR200 sont relativement différentes de celles de Creek Baie Nord 6-T : largeurs du lit mouillé et du lit mineur au moins 5 fois plus importantes à la station Kaoris KAOR200 ; granulométrie du fond de la rivière relativement homogène à Kaoris KAOR200, constituée principalement de roche-mère et de dalles. De plus, la station Kaoris KAOR200 présente des fonds fortement colmatés, signe de perturbations sédimentaires latéritiques, en lien avec les activités historiques sur ce bassin versant (exploitation minière et prospection minière).

Ces éléments peuvent remettre en question le choix de cette station de référence pour Creek Baie Nord 6-T. Il semble préférable de trouver un cours d'eau de référence de plus petite superficie, avec des conditions hydro-morphométriques à la station plus comparables à celles de Creek Baie Nord 6-T, en environnement préservé (forêt) et ombragée ; ou même de choisir une station dans un sous-bassin versant du Ruisseau des Kaoris, présentant une superficie de bassin versant à la station équivalente à

celle de Creek Baie Nord 6-T, ainsi que des conditions morphométriques comparables et des fonds peu colmatés.

D'autres prospections restent donc nécessaires en cours inférieur d'une des rivières pressenties ou dans un autre cours d'eau de petite taille, proche du Creek Baie Nord : Rivière du Carénage, Rivière Kadji ou Ruisseau de la Bergerie par exemple (voir carte ci-après).

Comme le soulignent Moisan & Pelletier (2008), le premier repérage de ces stations peut être réalisé au moyen d'outils cartographiques (cartes topographiques, orthophotographies et photos satellites). Ensuite, **une visite de terrain s'impose pour valider le choix**. Une observation rapide des organismes benthiques en place peut confirmer l'à-propos du choix de la station ou au contraire suggérer qu'un élément (perturbation) aurait échappé au premier repérage. En effet, une station de référence doit comporter une forte biodiversité en insectes polluo-sensibles éphéméroptères et trichoptères.

VIII.3. Comparaison des données recueillies par Hytec et Vale NC au niveau de la physico-chimie des eaux et recommandations

La comparaison des données acquises par Vale NC et Hytec n'a pu être réalisée que sur quelques paramètres (conductivité, pH, chlorures, sodium, sulfates dissous, magnésium, potassium, silicium et nitrates). Pour ces éléments, les écarts observés entre les données collectées par Hytec et Vale NC sont ponctuels et relativement faibles. Les mesures des 2 opérateurs restent comparables.

Néanmoins, cette comparaison a mis en exergue plusieurs points à améliorer dans la collecte des données par le service Environnement de Vale NC.

VIII.3.1. Mesures réalisées in situ (température, pH, oxygène dissous, conductivité, turbidité)

Il est recommandé :

- **Un étalonnage en 2 points au minimum, avec utilisation de solutions étalons certifiées et non altérées** : en effet, certaines données acquises sont imprécises, en raison de l'utilisation de solutions étalons non adaptées au contexte des rivières de l'HER D de la Plaine du Grand Sud. Par exemple, les valeurs de turbidité mesurées par Vale NC ont été supérieures à celles enregistrées par Hytec. Ainsi, sur Trou Bleu 3-C, la turbidité relevée par Vale NC varie entre 1 et 5 NTU alors que celle mesurée par Hytec est inférieure ou égale à 0,1 NTU quelque soit la saison. L'écart observé s'explique par les solutions étalon utilisées : 10 NTU pour Vale et 0,02 et 10 NTU pour Hytec, d'où une meilleure précision d'Hytec dans les basses valeurs (Hytec & Mary, 2014). Les mesures de turbidité de Vale NC sont donc à considérer avec prudence.

Ces différences soulignent la nécessité de procéder aux étalonnages adéquats pour chaque paramètre mesuré in situ, au moyen de solutions étalons certifiées : 0,01 et 10 NTU pour la turbidité ; 4, 7 et/ou 10 pour le pH ; 1413 μ S/cm pour la conductivité ; 0% et 100% pour l'oxygène dissous par exemple. Les valeurs citées dépendent bien sûr du type d'appareil utilisé par l'opérateur et de ses spécificités. Elles doivent encadrer dans la mesure du possible les valeurs mesurées sur le terrain.

Il appartient à l'équipe d'échantillonnage de se familiariser avec les appareils de mesure *in situ* afin de bien connaître leurs caractéristiques de fonctionnement et d'étalonnage. Les manuels d'utilisation doivent être emportés sur le terrain. **Durant la campagne d'échantillonnage, chaque matin, les instruments de mesure *in situ* doivent être étalonnés** selon les spécifications mentionnées dans les notices d'utilisation de chaque appareil. **En fin de chaque journée, la mesure des étalons doit être réalisée afin de voir l'éventuelle dérive de la sonde en cours de journée** (voir tolérance constructeur). Les méthodes d'étalonnage indiquées doivent être respectées de façon à assurer l'intégrité des résultats obtenus et la justesse des instruments de mesure. Il est essentiel de noter tous les résultats d'étalonnage afin de pouvoir les comparer et afin d'estimer la variabilité des mesures relevées tout au long de la campagne de terrain.

- **La nécessité de mesurer uniquement sur le terrain TOUS les paramètres suivants : turbidité de l'eau, pH, température, conductivité, oxygène dissous (mg/l, % de saturation et température de l'eau donnée par cette sonde) et de préciser la température de référence retenue pour la conductivité (20 ou 25 °C). Pour la mesure du pH, la sonde doit être agitée en permanence ;** dans le cas contraire, des écarts supérieurs à une unité pH peuvent être observés (c'était le cas avec l'équipe de Vale NC lors de la mesure comparative sur Trou Bleu 3-C en novembre 2011).

Rappelons que l'oxygène est d'une extrême importance dans le milieu aquatique : il permet la respiration des êtres vivants et intervient dans la transformation et le recyclage des composés organiques. Il constitue donc pour les eaux superficielles **un indicateur de qualité car la diminution de la teneur en oxygène dissous indique généralement une dégradation importante de matières organiques.**

VIII.3.2. Exploitation des données

Nous avons été confrontés à des jeux de données incomplets, en particulier dans celles fournies par Vale NC. Par exemple, plusieurs paramètres n'ont pas été analysés par Vale NC en juin 2012, décembre 2012 et juin 2013 sur Creek Baie Nord 6-T (cf tableau 3.4). La fréquence d'échantillonnage et le nombre de paramètres de suivi de l'état écologique des eaux douces par Vale NC dépendent du cadre réglementaire imposé à la société (dont les autorisations d'exploiter des installations classées et la convention pour la protection de la biodiversité). Ceci explique pour partie les jeux de données incomplets. Il semble toutefois à la comparaison des données transmises pour juin 2012 et juin 2013 que d'autres paramètres sont soit analysés en plus, mais à fréquence variable, soit n'ont pas été transmis à Hytec.

Ces aspects avaient également été soulignés par Lascombe (2011) qui déplorait la non disponibilité à ce jour d'un document synthétique et exhaustif rédigé par Vale NC, sous forme de tableau ou cartographique, permettant de mieux comprendre le dispositif de suivi actuel. **La recommandation n°3** de Lascombe (2011) portait sur ce point et proposait la « restauration d'une logique d'ensemble plus lisible du dispositif de suivi ainsi que de ses objectifs point par point, avec harmonisation des indicateurs, paramètres et fréquences en fonction de leur signification. »

Il reste indispensable d'harmoniser la liste des paramètres à analyser sur les 2 stations impactées Creek Baie Nord 6-T et Kwë 1-E et sur leurs stations de référence respectives (soit 4 stations au total), pour l'ensemble des périodes d'échantillonnage proposées, afin que les mêmes paramètres soient analysés sur chaque station et à chaque saison. C'est à ce seul prix qu'on obtiendra des chroniques de données complètes et cohérentes, permettant d'apprécier l'évolution spatio-temporelle de la qualité physico-chimique de l'eau dans le périmètre d'influence du projet minier et industriel de Vale NC.

Nous avons également été confrontés à des limites de quantification trop élevées dans le jeu de données de Vale NC, pour une vingtaine de paramètres physico-chimiques, rendant impossible la comparaison entre les données collectées par Vale NC et celles d'Hytec (cf tableau 3.5) mais aussi, l'interprétation des résultats obtenus au regard des concentrations sans effet prévisible pour l'environnement (PNEC) pour le compartiment aquatique, établies par l'INERIS.

La nécessité de fixer une limite de quantification minimale pour chaque paramètre physico-chimique s'impose.

VIII.4. Comparaison des données faunistiques (macrofaune benthique) recueillies par Hytec et Aqua Terra

VIII.4.1. Des résultats difficilement exploitables pour un suivi à long terme

La comparaison des données faunistiques recueillies par Hytec et Aqua Terra met en exergue **une faiblesse méthodologique chez Aqua Terra, ce qui produit des données difficilement exploitables dans la cadre d'un suivi de l'état de santé des milieux concernés**. En effet, les prélèvements faunistiques réalisés par Aqua Terra présentent une diversité bien moindre et une abondance plus faible que ceux d'Hytec réalisés les mêmes jours en double aveugle (sur l'ensemble de l'étude, plus d'un tiers des taxons identifiés par Hytec n'a pas été récolté par Aqua Terra). Certes, les données d'Aqua Terra et de Hytec indiquent une qualité biologique équivalente en IBS pour les stations Creek Baie Nord 6-T (qualité mauvaise) et Trou Bleu 3-C (qualité passable), mais pour certains relevés (Kwë 1-E en juin 2012 et janvier 2013), les indices obtenus par Aqua Terra sont surévalués et non représentatifs de la qualité réelle du milieu en raison du faible nombre de taxons prélevé (pour ces périodes, les données de Hytec indiquent une mauvaise ou très mauvaise qualité biologique).

De plus, il est important de bien comprendre ici que, plus que la détermination d'une qualité du milieu au moyen d'indices divers et variés, l'enjeu reste bien de constituer des listes faunistiques fiables, complètes et représentatives de la biodiversité présente dans chaque site, afin de permettre des comparaisons sur le long terme. Comme le souligne Lascombe (2011), *« l'investigation biologique reste la référence de base si elle procède d'inventaires floristiques et faunistiques fiables, dont l'exploitation sous forme d'indices ou de métriques diverses encore à venir, donnera toute leur signification ».*

Les défaillances méthodologiques suivantes ont été relevées chez Aqua Terra (**en gras celles qui influencent les résultats obtenus**) :

- **un ordre de priorité des substrats à prélever non respecté lors des échantillonnages**, en raison certainement d'une mauvaise appréciation des habitats disponibles dans la station et de la non prise en main du guide Mary & Archambault (2012a) qui détaille la procédure d'échantillonnage

- du benthos à suivre sur le terrain ; cela aboutit à des échantillonnages non conformes, effectués en priorité par exemple dans des substrats peu ou non biogènes ;
- **un échantillonnage dans des substrats non représentatifs des cours d'eau néo-calédoniens**, nommés « cypéracées » ou héliophytes par Aqua Terra. Il s'agit de plantes de maquis minier sur berge qui ne sont pas immergées tout au long de l'année. La catégorie de substrat « héliophytes » n'a par ailleurs pas été intégrée dans le protocole réactualisé de Mary & Archambault (2012a), en raison de sa rareté dans les cours d'eau néo-calédoniens ;
 - **l'ajout du fixateur** (idéalement de l'éthanol à concentration finale de 70%) **non réalisé *in situ*** mais après retour au véhicule de terrain, ce qui entraîne un décalage de conservation de la faune d'une demi-heure environ selon les stations ;
 - **des prélèvements unitaires non individualisés sur le terrain**, ce qui va à l'encontre des préconisations de Mary & Archambault (2012a) et qui ne permet pas d'identifier les problèmes d'échantillonnage éventuels.

Mary & Archambault (2012a) avaient différencié et mieux caractérisé certains substrats qui en englobaient plusieurs (litières et racines, blocs, algues...). **Il est indispensable de se conformer à ce guide** et d'utiliser la nomenclature employée par les auteurs pour l'identification des types de substrat.

De plus, au vu des résultats obtenus par Aqua Terra, il est probable que la **surface délimitée par le filet d'échantillonnage** (surber) qui correspond à 0,05 m² ait été **parfois incomplètement prélevée**. Le guide Mary & Archambault (2011) détaille pourtant pour chaque substrat le mode de prélèvement adéquat. **Si la surface occupée par le substrat principal ne remplit pas tout le cadre du surber, il est nécessaire de compléter le prélèvement en plusieurs endroits jusqu'à obtenir la surface d'échantillonnage requise.**

Le fait également que les opérateurs d'Aqua Terra en charge des prélèvements faunistiques en soient pas les mêmes d'une campagne d'échantillonnage à l'autre peut contribuer à expliquer l'incohérence des données observées. **En effet, l'échantillonnage est une phase cruciale dans l'étape d'évaluation de la qualité des cours d'eau. Il nécessite l'intervention de personnes formées, ayant une bonne expérience des rivières et une bonne prise en main du guide Mary & Archambault (2012).**

Enfin, aucune validation taxonomique n'a été réalisée sur les listes faunistiques établies par Aqua Terra. L'examen, par Hytec, de spécimens collectés par Aqua Terra lors de la campagne de juin 2013 a montré que des organismes identifiés comme Tipulidae sont en réalité des Limoniidae. **Il est probable que d'autres erreurs de détermination aient été réalisés par Aqua Terra sur des macroinvertébrés benthiques** dans la mesure où Aqua Terra ne fait pas réaliser de validation taxonomique des spécimens qu'elle collecte par un expert, et que la validation taxonomique n'est pas exigée par Vale NC dans son cahier des charges.

Il faut rappeler ici que l'unique formation dispensée aux bureaux d'études en place pour l'identification de la macrofaune benthique des rivières néo-calédoniennes a eu lieu en août 2002 et que depuis, aucune formation complémentaire n'a été réalisée.

Enfin, on peut relever au niveau des données mésologiques numérisées que certains paramètres restent identiques d'une campagne à l'autre pour une même station (i.e. longueur du bief échantillonné ou coordonnées GPS des stations) alors qu'en fonction des conditions hydrologiques, notamment entre étiage et moyennes eaux, il y a lieu de modifier la longueur du bief échantillonné.

L'ensemble de ces défaillances conduisent à un jeu de données faunistiques non exploitable dans le cadre du suivi et pour une meilleure connaissance de l'évolution de l'état de santé des milieux aquatiques de la zone d'étude.

VIII.4.2. Recommandations en ce qui concerne la macrofaune benthique

Méthodologie d'échantillonnage

Le guide Mary & Archambault (2012a) détaille l'ensemble de la procédure d'échantillonnage du benthos en rivière, en vue de la détermination des indices IBNC et IBS. **Il reste nécessaire de s'y référer régulièrement pour acquérir la maîtrise des échantillonnages en rivière.** Nous insisterons, en particulier, sur les points suivants :

- l'élément majoritaire dans la matrice d'éléments occupant le cadre du surber détermine la nature du substrat prélevé : il s'agit du **substrat principal**. Pour pouvoir être pris en compte, celui-ci doit occuper plus de 50% de la surface du cadre. Dans le cas contraire (s'il couvre moins de 50% de cette surface), il est considéré comme substrat secondaire et ne peut pas être pris en compte dans le plan d'échantillonnage (Mary & Archambault, 2012a).
- avant de procéder aux prélèvements de faune benthique, il est nécessaire de **repérer tous les types de substrats présents dans la station et de noter leur pourcentage de recouvrement** (les classes de vitesse de courant dans lesquelles se situe chaque substrat doivent également être identifiées). Il est indispensable que le substrat, support de la faune benthique, n'ait pas été perturbé pour obtenir des résultats fiables. **Il faut donc éviter, dans la mesure du possible, de marcher dans le cours d'eau et de piétiner le substrat durant la phase de délimitation de la station et de reconnaissance des habitats.**
- dans chaque station, **les prélèvements unitaires et différenciés doivent être réalisés au moyen d'un filet « Surber », dans un couple « substrat x vitesse de courant » prédéterminé ;**
- les prélèvements doivent toujours être réalisés **de l'aval vers l'amont** afin d'éviter de perturber les habitats disponibles ;
- les substrats à échantillonner sont à **rechercher prioritairement selon leur ordre d'habitabilité maximale** (cf tableau 6.1). Il faut échantillonner en priorité **le substrat le plus biogène** [bryophytes avec une note d'habitabilité de 11] dans la classe de vitesse de courant où il est le plus rencontré dans la station d'étude ; puis procéder au prélèvement suivant, soit lorsque le substrat le plus biogène a été prélevé, soit après avoir vérifié qu'il n'est pas présent de façon significative dans la station, tout en respectant l'ordre d'habitabilité des substrats. **Pour chaque type de substrat, le prélèvement est à réaliser dans la classe de vitesse où il est le plus représenté ;**

Tableau 7.1 Ordre de priorité des substrats à échantillonner

Ordre de priorité d'échantillonnage	Ordre d'habitabilité	Substrat
1	11	Bryophytes
2	10	Spermaphytes immergés (hydrophytes*) tels que <i>Hydrilla verticillata</i>
3	9	Litières
4	8	Chevelus racinaires / supports ligneux (troncs, branchages)
5	7	Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets) (25 à 250 mm)
6	6	Blocs déplaçables (taille supérieure à 250 mm) inclus dans une matrice de pierres et galets (25 à 250 mm)
7	5	Granulats grossiers (graviers) (2 à 25 mm)
8	4	Vases : sédiments fins (< 0,1 mm) avec débris organiques fins
9	3	Sables et limons (< 2 mm)
10	2	Fines latéritiques (< 2 mm)
11	1	Algues
12	0	Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles (roches, dalles, argiles compactes) (support non déplaçable)

- il est fortement conseillé de **conditionner séparément chaque prélèvement unitaire en le fixant sur le terrain** juste après l'échantillonnage réalisé, au moyen d'éthanol dont la concentration finale sera de 70% ;
- dans la mesure du possible, il est recommandé de **faire réaliser les prélèvements biologiques des stations par la même personne pour l'ensemble des campagnes d'échantillonnage** et des stations, afin d'éviter le biais lié au changement de préleveur. Cette personne aura eu connaissance du cahier des charges du client (notamment séparation ou non des prélèvements et nombre de prélèvements unitaires à réaliser à chaque station) et du guide méthodologique Mary et Archambault (2012) ;
- la largeur du lit mouillé et la profondeur maximale à la station devraient être **mesurées de façon précise et non appréciées visuellement** pour éviter les écarts entre prestataires. L'emploi d'un décimètre ou d'un laser mètre permet les mesures de longueur de bief et de largeur du lit mouillé à la station ;
- de la même façon, **les coordonnées aval et amont de la station échantillonnée doivent être relevées au GPS** (éviter de reproduire les mêmes coordonnées d'une campagne sur l'autre).

Le guide Mary & Archambault (2012a) donne en outre des recommandations sur les techniques d'échantillonnage de chaque substrat. Il reste important de s'y référer.

Extrait du guide Mary & Archambault (2012a)

Les travaux d'échantillonnage

- 1 Délimiter la station d'échantillonnage en suivant les recommandations du paragraphe 2/3 ;
- 2 Identifier les différents substrats présents, leur pourcentage de recouvrement et les classes de vitesse de courant dans lesquels ils sont représentés. Le noter dans le tableau correspondant.
- 3 Repérer, dans la station, l'emplacement des 5 habitats les plus favorables pour les prélèvements faunistiques, en s'aidant du tableau précédemment rempli et sans perturber le lit du cours d'eau (cf paragraphe 2/7).
- 4 Regrouper le matériel nécessaire à l'échantillonnage : filet « surber », petit filet, bassine, fiches de terrain, crayon papier, bocaux, alcool, marqueur à encre indélébile, ;
- 5 S'assurer que le filet « Surber » est en bon état et propre. Le cas échéant, le laver à grande eau en aval de la station d'échantillonnage ;
- 6 Procéder à chaque prélèvement de faune benthique selon les spécifications fournies au paragraphe 2/7. Procéder toujours de l'aval vers l'amont. Noter les caractéristiques de chaque prélèvement unitaire au fur et à mesure (type de substrat, vitesse du courant, hauteur d'eau, colmatage et stabilité du substrat, ...).
- 7 Le cas échéant, effectuer un pré-tri (élutriation).
- 8 Fixer immédiatement sur le terrain chaque prélèvement par ajout d'alcool. Il est indispensable de remplir entièrement chaque contenant (au besoin rajouter de l'eau) de façon à ce que les organismes benthiques ne subissent pas d'altération et de chocs durant le transport. Après dilution avec l'eau, l'échantillon doit présenter une teneur en alcool de 70% environ ;
- 9 Noter sur chaque flacon le nom de la station, la date de prélèvement, ainsi que le numéro du prélèvement avec un marqueur à encre indélébile ou un crayon à papier. Il est également conseillé de glisser dans le prélèvement fixé un morceau de papier calque portant l'ensemble de ces informations écrites au crayon à papier ;
- 10 Nettoyer le matériel de prélèvement (filets, bassine). S'assurer que les filets sont en bon état (exempts d'accroc).

Traitements biologiques et interprétation des résultats

Les nymphes des insectes diptères et trichoptères doivent être comptabilisées.

En ce qui concerne l'interprétation des résultats, **dans le cas de faibles richesses taxonomiques recensées** (moins de 10 taxons), nous recommandons de calculer les notes indicielles IBS et/ou IBNC et **d'argumenter les valeurs d'indices obtenues en fonction des caractéristiques du milieu**, d'autant plus si elles témoignent d'une qualité biologique bonne ou très bonne. En effet, une faible richesse taxonomique traduit souvent une perturbation (une station de rivière de bonne qualité comporte en général au minimum une quinzaine de taxons différents) ; ou caractérise un type de milieu particulier (zone de source, affleurement, suintement,...). Dans ce cas, les notes indicielles doivent être considérées avec prudence et il est important de signaler si une note paraît aberrante.

En revanche, **dans le cas de stations de rivière fortement perturbées**, telles que les sites recevant des effluents domestiques (eaux brutes) en quantité importante (aval de stations d'épuration mal dimensionnées par exemple, aval de lotissements dépourvu de réseau d'assainissement) ou de sites fortement dégradés par les exploitations minières (substrat fortement colmaté par les latérites), la richesse taxonomique peut être normalement faible. **Dans ce cas là également, il reste essentiel d'explicitier la note obtenue.**

De plus, il serait important de **préciser, dans le cahier des charges de Vale NC, une validation taxonomique obligatoire des identifications réalisées par le bureau d'études en charge de la détermination des indices IBNC et IBS.** Cette validation pourrait concerner, dans un premier temps, la totalité des spécimens collectés durant les 4 premières campagnes de terrain, puis 25% des identifications (choisies de façon aléatoire).

Emplacement des stations et des biefs échantillonnés

La **station Trou Bleu 3-C** se situe en limite de la zone de remontée des eaux salées, à proximité de l'embouchure. Les prélèvements réalisés par Aqua Terra pourrait expliquer en partie les différences faunistiques observées par rapport à Hytec. Les prélèvements doivent impérativement démarrer en amont de la deuxième cascade (un tricot rayé a été aperçu entre les deux premières chutes d'eau), soit une dizaine de mètres en amont du gué.

De même, la station 1-E présente **peu d'habitats diversifiés et le bief échantillonné est difficile d'accès** (courant important, cours d'eau large, pas d'ombrage, ni de méandre). Le déplacement de la station actuelle soit vers l'amont, soit vers l'aval permettrait de s'affranchir des contraintes liées au changement de station, au regard notamment de la chronique de données historiques déjà disponibles sur Kwë 1-E (physico-chimie des eaux et des sédiments, faune benthique notamment). Le changement de station ne devra être envisagé qu'en dernier recours. Ethyco a échantillonné sur la Kwë Ouest à 3 km en amont en novembre 2012. Cette station était caractérisée également par une pauvreté de substrats, mais les conditions d'accès au cours d'eau étaient beaucoup plus faciles. Par contre, elle ne représente qu'une partie du bassin versant de la rivière Kwë (environ 50%). Son point de confluence avec la Kwë Nord se situe juste en aval de la station échantillonnée en novembre 2012.

L'échantillonnage devrait se faire sur un bief d'une longueur minimale de 200 mètres environ, qui contiendrait un maximum d'habitats biogènes, ce qui permettrait d'obtenir une meilleure richesse taxonomique.

En conclusion, **les notes IBNC et IBS doivent être calculées quelque soit la richesse taxonomique collectée dans une station de rivière**, mais elles doivent être argumentées en se basant sur les caractéristiques du milieu, les conditions de prélèvement et les conditions climatiques ayant précédé l'échantillonnage si moins de 10 taxons ont été collectés au total.

De plus, pour toute station prospectée, il est fortement conseillé de **compléter le diagnostic avec le calcul des indices de diversité suivants : indice EPT, indice de Margalef, indice de Shannon, équitabilité, abondance relative en insectes Chironomidae**.

Les incohérences constatées lors de la comparaison des résultats faunistiques acquis par Hytec et Aqua Terra mettent en exergue la **nécessité de mise en place d'une formation avec remise à niveau pour les techniques d'échantillonnage en rivière et pour les techniques de tri et d'identification en laboratoire**.

La **validation taxonomique** reste en outre une étape essentielle pour constituer des chroniques de **données fiables et comparables dans le temps**. La conservation des échantillons pour un contrôle ultérieur ou une détermination plus poussée reste indispensable.

VIII.4.3. Chroniques de données à acquérir dans le domaine biologique

Macrofaune benthique

Notre étude met en exergue des lacunes de données en ce qui concerne la macrofaune benthique pour les stations suivantes : Wajana Waja300, Kuébini KUEB300 ; Kaoris KAOR200. D'autres stations seraient également à prospecter dans la zone d'étude, en tant que référence (Rivière du Carénage, Ruisseau de la Bergerie). Comme le souligne Lascombe (2011), il reste nécessaire de réaliser pour l'ensemble de ces stations deux campagnes de suivi par an, fréquence jugée minimale pour une bonne représentativité. **Les prélèvements pour la saison d'étiage devront être réalisés entre septembre et novembre**.

De plus, **il est essentiel d'augmenter l'effort d'échantillonnage sur ces rivières à faible densité naturelle de faune, en prospectant l'ensemble des substrats présents, y compris les moins représentés**. Les substrats **dominants** sont définis comme représentant au moins 5% de la surface mouillée totale de la station et les substrats **marginiaux** moins de 5% de la surface mouillée totale de la station.

Il est fortement conseillé de procéder dans les futures études à 8 prélèvements unitaires par station au minimum (au lieu des 5 effectués actuellement), voire 12 dans le cas de l'élaboration d'un état de référence, pour compléter les chroniques de données acquises, avec inclusion des faciès lénitiques comme préconisé par Lascombe (2011).

Ces 8 (ou 12) prélèvements seront réalisés selon l'ordre de priorité correspondant à une habitabilité décroissante du benthos (cf tableau 6.1 ci-dessous). Tous les substrats présents (marginiaux et dominants) seront échantillonnés dans la classe de vitesse où ils sont les plus représentés, puis les prélèvements seront complétés dans les habitats dominants, au prorata de leur superficie et dans des classes de vitesse différentes.

Diatomées

En ce qui concerne les diatomées, Lascombe (2011) avait recommandé l'intégration de prélèvements de diatomées dans les campagnes d'échantillonnage d'invertébrés (recommandation n°11). Les données acquises permettent d'inventorier les peuplements floristiques présents, même si elles ne contribuent pas immédiatement aux diagnostics de qualité. **Il reste donc intéressant de poursuivre les échantillonnages de diatomées pour une exploitation ultérieure des résultats.** Se pose, en revanche, le problème de l'analyse des échantillons collectés qui a été assurée à ce jour par Michel Coste. Les personnes formées à ce jour sont celles qui participent à la réalisation d'un atlas taxinomique des diatomées de Nouvelle-Calédonie et au développement de l'indice diatomique : Julien Marquié (thésard à l'Université de Bordeaux et salarié du bureau d'études métropolitain Asconit) et Florence Perez de ce même bureau d'études.

Chapitre IX - Références bibliographiques

AFNOR (2007). Qualité de l'eau - Détermination de l'indice biologique diatomées (IBD). Norme NF T90-354. Décembre 2007. 79p.

Asconit, Biotop 2011. Définition des hydro-écorégions dans le cadre des conseils de l'eau. Rapport d'état d'avancement : phases 1 et 2. Gouvernement de Nouvelle-Calédonie (DAVAR) et Province Sud (DENV). Comité de pilotage : Gouvernement de NC (DAVAR), Province Sud (DENV), Province Nord (DAN), Province des îles, OEIL, CNRT. 40 pp.

BESSE-LOTOTSKAYA, A., P. F. M. VERDONSCHOT, M. COSTE & B. V. D. VIJVER (2011). Evaluation of European diatom trophic indices. *Ecological Indicators* 11(2) : 456-467.

CEMAGREF (1982). Etude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. Rapport Q.E.Lyon-A.F.Bassin Rhône-Méditerranée-Corse 218 p.

Chessel D., Thioulouse J., Dolédec S. & Olivier J.M., 1997. ADE-4. Fiches modules. CNRS-UCB. 844 p.

Coste M., S. Boutry, J. Tison-Rosebery & F. Delmas (2009). Improvements of the Biological Diatom Index (BDI) : Description and efficiency of the new version (BDI-2006). *Ecological Indicators* 9(4) : 621-650.

ERBIO, 2010. Etude de suivi ichtyologique et carcinologique dans le Creek de la Baie Nord, la Kwé, le Trou bleu, la Wadjana et la Kuébini. Campagne mai-juin 2010.

Hytec & Mary, 2014. Suivi comparatif de la qualité de certains cours d'eau dans le périmètre d'influence du projet minier et industriel de Vale Nouvelle-Calédonie. Phase 1 : Rapport de terrain et résultats d'analyses 2011-2013. OEIL Nouvelle-Calédonie. Rapport n° 2011/IB 16 version H_7 (version finale). Mars 2014.

Lascombe C., 2011. Expertise collégiale du plan de suivi des eaux superficielles de la société Vale Nouvelle-Calédonie. Rapport final de synthèse. Province Sud Nouvelle-Calédonie, 70 pages.

Mary N. & Archaimbault V., 2012a. L'indice Biotique de la Nouvelle-Calédonie (IBNC) et l'Indice Biosédimentaire (IBS) : Guide méthodologique et technique. DAVAR, SESER, Pôle de l'Observatoire de la Ressource en Eau. CEMAGREF. 46 pages + annexes.

Mary N. & Archaimbault V., 2012b. Amélioration des méthodes indicielles Indice Biotique de la Nouvelle-Calédonie (IBNC) et Indice Bio-sédimentaire (IBS). Phase 2. Rapport ETHYC'O et IRSTEA. Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie. 75 pages + annexes.

Mary, 2012. Rapport de terrain. Amélioration des méthodes indicielles IBNC et IBS. Phase 3 : validation des indices. Mission d'échantillonnage (période du 2 au 20 novembre 2012). Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie (DAVAR), OEIL, CNRT. 9 pages + annexes.

ROTT, E., E. PIPP, P. PFISTER, H. V. DAM, K. ORTHER, N. BINDER & K.PALL (1999). Indikationslisten für Aufwuchsalgen in Österreichischen Fließgewässern. Teil 2 : Trophieindikation., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Wien.2 : 248 p.

Rumeau A. & M. Coste (1988). Initiation à la systématique des Diatomées d'eau douce. *Bull. Fr. Piscic.* 309 : 69 p.

Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S. & Olivier J.M., 1997. ADE-4 : a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing* 7 (1), 75-83.

Moisan J. et PELLETIER L., 2008. Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, 2008. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-53591-1 (version imprimée), 86 p.

Mary N., 2012. Amélioration des méthodes indicielles IBNC et IBS. Phase 3 : validation des indices. Mission d' échantillonnage (période du 2 au 20 novembre 2012). Rapport de terrain. DAVAR, OEIL, CNRT. 13 pages.

Annexes

Annexe 1 : éléments d'interprétation de l'ACM réalisée sur les données mésologiques

Rapports de corrélation des 16 paramètres sur les 2 premiers axes

Paramètre	F1	F2
Environnement général	0,777	0,731
Pente à la station	0,578	0,180
Largeur moyenne du lit mouillé (m)	0,628	0,521
Largeur du lit mineur (m)	0,629	0,129
Couverture par la végétation riveraine (%)	0,928	0,342
Type de végétation des rives	0,399	0,539
Ombrage du cours d'eau (%)	0,711	0,077
Roche mère / dalles (%)	0,546	0,335
Blocs (%)	0,444	0,116
Pierres / galets (%)	0,004	0,738
Graviers (%)	0,443	0,077
Latérites (%)	0,507	0,140
Latérites en milieu lotique (%)	0,119	0,237
Turbidité (NTU)	0,018	0,710
Superficie du BV à la station (ha)	0,870	0,584
Ordre de drainage du cours d'eau à la station	0,833	0,006

En **gras**, les paramètres qui présentent les plus fortes contributions pour les axes F1 et F2.

Contributions absolues des 20 observations à la constitution des axes F1 et F2

Observation	F1	F2
1-E ET1	500	217
1-E ME1	338	636
1-E ET2	237	593
1-E ME2	420	663
3-C ET1	881	353
3-C ME1	1187	279
3-C ET2	1145	537
3-C ME2	484	187
6-T ET1	121	340
6-T ME1	37	549
6-T ET2	53	753
6-T ME2	87	735
KAOR200 ET1	810	1089
KAOR200 ME1	810	1089
KAOR200 ET2	668	1073
KAOR200 ME2	813	661
KUEB300 ET1	67	34
KUEB300 ET2	61	139
WAJA300 ET1	737	61
WAJA300 ET2	534	0

En **gras**, les paramètres qui présentent les plus fortes contributions pour les axes F1 et F2.

ET1 : étiage année 1 ; ME1 : moyennes eaux année 1 ; ET2 : étiage année 2 ; ME2 : moyennes eaux année 2

Annexe 2 : éléments d'interprétation de l'ACP réalisée sur les résultats de physico-chimie des eaux

Matrice de corrélation de l'ACP

1 - Conductivité ; 2 - oxygène dissous ; 3 - pH ; 4 - température ; 5 - turbidité ; 6 - couleur ; 7 - Aluminium dissous ; 8 - chlorures ; 9 - Demande chimique en oxygène DCO filtrée ; 10 - Matières en suspension MES ; 11 - Silicium dissous ; 12 - sodium ; 13 – sulfates dissous ; 14 - calcium ; 15 - hydrogénocarbonates ; 16 - magnésium ; 17 - potassium ; 18 - Azote total N T dissous ; 19 - Fer dissous ; 20 - fluorures dissous ; 21 - Manganèse dissous ; 22 - Nitrates NO₃ dissous ; 23 - Phosphates PO₄ ; 24 - Chrome Cr dissous ; 25 - cyanures libres ; 26 - étain dissous ; 27 - Mercure Hg dissous ; 28 - Nickel Ni dissous ; 29 - Chlorophylle a ; 30 - phéopigments

[1] 1000
[2] -95 1000
[3] 523 12 1000
[4] 484 -650 378 1000
[5] 219 147 319 66 1000
[6] -407 504 -219 -453 410 1000
[7] 183 554 431 -236 396 354 1000
[8] 797 -6 504 461 105 -295 210 1000
[9] -108 -319 70 215 174 -24 -105 -31 1000
[10] 19 -333 98 35 332 -38 -23 3 464 1000
[11] 714 -271 507 640 47 -548 2 545 -117 -143 1000
[12] 668 -182 310 458 56 -288 32 858 -43 22 585 1000
[13] 681 358 285 -16 524 224 403 544 -97 68 190 385 1000
[14] 510 337 358 -75 262 12 463 530 -51 7 323 539 571 1000
[15] 581 -228 577 500 95 -521 95 490 -15 71 576 397 147 458 1000
[16] 782 -241 470 645 140 -436 23 594 -77 -61 823 584 375 433 798 1000
[17] 532 235 225 44 388 186 352 500 10 163 194 462 718 677 288 496 1000
[18] -275 -139 -57 29 206 161 -173 -297 353 277 -252 -311 -132 -220 -20 -61 -47 1000
[19] 67 -421 105 348 213 -102 -347 11 85 230 36 61 -63 -388 67 60 -180 179 1000
[20] 7 365 188 -345 200 277 556 72 46 68 -32 0 189 488 -46 -110 249 97 -418 1000
[21] 3 104 -162 -187 445 346 26 -118 -104 203 -204 -16 394 -69 -352 -212 96 123 392 81 1000
[22] 335 58 224 -29 553 129 351 27 51 152 179 -104 613 229 83 245 388 42 -84 285 300 1000
[23] 170 155 141 -16 127 273 231 287 -46 10 -77 226 301 260 80 96 375 -114 -16 168 -116 56 1000
[24] 420 -35 254 150 343 -161 70 157 -241 -35 350 147 348 97 300 391 212 -25 497 -141 364 384 -91 1000
[25] 261 38 20 -42 -299 -261 21 154 -211 -149 69 217 153 195 214 165 2 -212 -116 -36 125 -143 232 109 1000
[26] -185 -227 -168 187 -55 276 -302 -4 24 72 -251 33 -176 -229 -223 -238 -88 -147 134 -155 -62 -394 166 -413 -175 1000
[27] -54 -253 107 259 324 248 14 88 311 566 -234 39 27 -136 -94 -193 16 93 238 50 178 -96 140 -309 -208 701 1000
[28] -246 294 -35 -509 162 442 165 -461 -74 -91 -348 -459 47 -131 -329 -340 -206 86 92 134 289 66 6 -7 71 -61 -34 1000
[29] 549 32 553 290 458 65 363 662 -87 87 317 617 490 483 431 420 524 -166 217 170 94 188 415 214 -27 116 194 -270 1000
[30] 509 47 499 266 435 92 331 687 -46 132 249 658 472 472 389 379 531 -184 227 147 102 110 410 130 -26 172 272 -243 971 1000

Contributions absolues des paramètres à la constitution des axes F1, F2 et F3

Paramètres	F1	F2	F3
Conductivité	1008	26	26
oxygène dissous	1	1196	523
pH	543	0	13
température	310	969	302
turbidité	169	580	744
couleur	94	1271	228
Aluminium dissous	142	995	82
chlorures	925	23	0
Demande chimique en oxygène DCO filtrée	5	24	669
Matières en suspension MES	5	2	1213
Silicium dissous	618	402	164
sodium	762	92	2
Sulfates dissous	539	623	1
calcium	578	319	209
hydrogénocarbonates	611	258	41
magnésium	835	246	66
potassium	563	364	6
Azote total N T dissous	70	1	349
Fer dissous	4	197	945
fluorures dissous	22	769	35
Manganèse dissous	1	360	318
Nitrates NO ₃	142	400	2
Phosphates PO ₄	116	194	32
Chrome Cr dissous	203	0	14
cyanures libres	34	11	478
étain dissous	39	35	887
Mercure Hg dissous	0	5	2012
Nickel Ni dissous	177	455	4
Chlorophylle a	767	83	261
phéopigments	702	85	358

En **gras**, les paramètres qui présentent les plus fortes contributions pour les axes F1 et F2.

Contributions absolues des observations à la constitution des axes F1, F2 et F3

Station	Date d'échant.	Nomenclature	F1	F2	F3
KAOR200	22/11/2011	KAOR200 ET1	80	254	108
6-T		6-T ET1	972	592	25
6-T Dupli		6-TD ET1	949	619	1
3-C		3-C ET1	37	742	1340
1-E		1-E ET1	112	858	134
WAJA300		WAJA300 ET1	73	1025	16
KUEB300		KUEB300 ET1	95	918	395
KAOR200	20/06/2012	KAOR200 ME1	208	793	703
6-T		6-T ME1	762	612	238
6-T Dupli		6-TD ME1	596	628	308
3-C		3-C ME1	192	0	719
1-E		1-E ME1	27	251	466
KAOR200	11/12/2012	KAOR200 ET2	453	48	533
6-T		6-T ET2	47	323	818
3-C		3-C ET2	134	177	960
1-E		1-E ET2	117	16	1333
WAJA300	10/12/2012	WAJA300 ET2	412	38	84
KUEB300		KUEB300 ET2	398	0	0
KUEB300 Dupli		KUEB300D ET2	370	11	11
KAOR200	06/06/2013	KAOR200 ME2	400	0	247
6-T		6-T ME2	1201	358	67
3-C	04/06/2013	3-C ME2	695	0	167
1-E		1-E ME2	345	218	0
1-E Dupli		1-ED ME2	144	174	36
6-T		6-T ET1 VAL	618	103	128
3-C	22/11/2011	3-C ET1 VAL	23	2	55
1-E		1-E ET1 VAL	78	0	44
6-T		6-T ME1 VAL	118	179	7
3-C	20/06/2012	3-C ME1 VAL	8	93	265
1-E		1-E ME1 VAL	1	181	268
6-T	11/12/2012	6-T ET2 VAL	100	39	93
3-C		3-C ET2 VAL	15	6	112
1-E		1-E ET2 VAL	0	172	139
1-E	04/06/2013	1-E ME2 VAL	34	402	83
3-C		3-C ME2 VAL	46	39	72
6-T	07/06/2013	6-T ME2 VAL	120	114	8

En **gras**, les paramètres qui présentent les plus fortes contributions pour les axes F1 et F2.

Annexe 3 : éléments d'interprétation de l'ACP réalisée sur les données faunistiques (macrofaune benthique)

Contributions absolues des taxons à la constitution des axes F1 et F2

Taxon		F1	F2	Taxon		F1	F2
Aty	Atyidae	0	13	Oec	Oecetis	805	155
Net	Nématode	0	151	Phi	Philopotamidae	0	7
Nem	Némertien	50	0	Pol	Polycentropodidae	2	5
Oli	Oligochète	36	258	Sim	Simuliidae	2649	229
Hyi	Hydrobiidae	0	4	Cer	Ceratopogoninae	1	571
Mel	Melanopsis	3	26	For	Forcipomyiinae	8	0
Amf	Amphipode	0	8	Chi	Chironomini	2	1663
Hyd	Hydracarien	0	677	Chu	Chironomus	32	0
Col	Collembole	69	2	Tan	Tanytarsini	123	1650
Leo	Lepeorus	203	448	Har	Harrisius	0	934
Oun	Ounia	0	28	Cor	Corynoneura	385	84
Par	Paraluma	0	470	Oto	Orthocladiinae	3192	0
Iso	Isostictidae	1	1	Tap	Tanypodinae	32	998
Hyf	Hydrophilidae	0	13	Pse	Pseudochironomini	0	21
Ecn	Ecnomidae	4	323	Tab	Tabanidae	8	0
Hep	Helicopsyche	27	155	Emp	Empididae	2	29
Hyp	Hydropsychidae	1893	39	Lim	Limoniidae	94	0
Hyt	Hydroptilidae	366	1022				

Contributions absolues des observations à la constitution des axes F1 et F2

Date de prélèv.	Opérateur	Station	Nomenclature dans l'analyse	F1	F2
22/11/2011	Hytec	1-E	1-E ET1	1	2038
	Aqua Terra	1-E	1-E ET1 AT	10	130
	Hytec	3-C	3-C ET1	0	345
	Aqua Terra	3-C	3-C ET1 AT	237	29
	Hytec	6-T	6-T ET1	1401	0
	Aqua Terra	6-T	6-T ET1 AT	1013	592
20/06/2012	Hytec	1-E	1-E ME1	151	2
	Aqua Terra	1-E	1-E ME1 AT	493	432
	Hytec	3-C	3-C ME1	95	304
	Aqua Terra	3-C	3-C ME1 AT	389	113
	Hytec	6-T	6-T ME1	440	225
	Aqua Terra	6-T	6-T ME1 AT	266	339
04/11/2012	Ethyc'O	3-C	3-C ET2 NM	6	2017
	Ethyc'O	KUEB300	KUEB300 ET2 NM	159	39
11/12/2012	Hytec	6-T	6-T ET2	18	82
	Hytec	KAOR200	KAOR200 ET2	92	429
18/01/2013	Hytec	1-E	1-E ET2	139	65
	Aqua Terra	1-E	1-E ET2 AT	427	129
	Hytec	3-C	3-C ET2	24	35
	Aqua Terra	3-C	3-C ET2 AT	32	22
	Aqua Terra	6-T	6-T ET2 AT	793	129
04/06/2013	Hytec	1-E	1-E ME2	327	128
	Aqua Terra	1-E	1-E ME2 AT	444	449
	Hytec	3-C	3-C ME2	92	0
	Aqua Terra	3-C	3-C ME2 AT	298	545
06/06/2013	Hytec	6-T	6-T ME2	1856	26
	Aqua Terra	6-T	6-T ME2 AT	781	314
	Hytec	KAOR200	KAOR200 ME2	0	1029

Annexe 4 : éléments d'interprétation de l'ACP réalisée sur les indices de diversité et biologiques (macrofaune benthique)

Contributions absolues des observations à la constitution des axes F1 et F2

Date de prélèvement	Opérateur	Station	Nomenclature	F1	F2
22/11/2011	Aqua Terra	1-E	1-E ET1 AT	82	114
20/06/2012		1-E	1-E ME1 AT	568	26
18/01/2013		1-E	1-E ET2 AT	235	250
04/06/2013		1-E	1-E ME2 AT	856	661
22/11/2011	Hytec	1-E	1-E ET1	158	1
20/06/2012		1-E	1-E ME1	20	192
18/01/2013		1-E	1-E ET2	218	196
04/06/2013		1-E	1-E ME2	0	711
22/11/2011	Aqua Terra	3-C	3-C ET1 AT	66	0
20/06/2012		3-C	3-C ME1 AT	101	403
18/01/2013		3-C	3-C ET2 AT	88	4
04/06/2013		3-C	3-C ME2 AT	233	471
04/11/2012	Ethyc'O	3-C	3-C ET2 NM	1927	12
22/11/2011	Hytec	3-C	3-C ET1	1003	24
20/06/2012		3-C	3-C ME1	77	228
18/01/2013		3-C	3-C ET2	143	83
04/06/2013		3-C	3-C ME2	7	106
22/11/2011	Aqua Terra	6-T	6-T ET1 AT	283	565
20/06/2012		6-T	6-T ME1 AT	286	562
18/01/2013		6-T	6-T ET2 AT	0	45
06/06/2013		6-T	6-T ME2 AT	135	67
22/11/2011	Hytec	6-T	6-T ET1	10	1097
20/06/2012		6-T	6-T ME1	506	2039
11/12/2012		6-T	6-T ET2	235	4
06/06/2013		6-T	6-T ME2	246	2030
11/12/2012		KAOR200	KAOR200 ET2	998	5
06/06/2013		KAOR200	KAOR200 ME2	508	33
04/11/2012	Ethyc'O	KUEB300	KUEB300 ET2 NM	997	58

Contributions absolues des paramètres à la constitution des axes F1 et F2

Variable	F1	F2
Abondance	16	3726
Richesse taxonomique	2278	749
indice EPT	2262	191
Margalef	2613	5
Shannon	2142	707
Equitabilité	155	3958
IBNC	283	390
IBS	247	270

Annexe 5 : éléments d'interprétation de l'ACP réalisée sur les données floristiques (diatomées)

Contributions absolues des observations à la constitution des axes F1 et F2

Station	F1	F2	Station	F1	F2
KAOR200 ET1	259	654	1-EDéc ET2	158	840
3-C ET1	82	171	KUEB300 ET2	38	10
1-E ET1	116	178	WAJA300 ET2	200	3047
6-TD ET1	1516	8	KUEB300D ET2	97	0
KUEB300 ET1	243	595	6-T ET2	485	496
6-T ET1	996	105	3-CJan ET2	10	2
KAOR200 ME1	119	0	1-EJan ET2	142	627
3-C ME1	145	92	KAOR200 ME2	269	463
1-E ME1	186	10	3-C ME2	245	704
6-TD ME1	1548	16	1-E ME2	184	236
6-T ME1	1378	17	1-ED ME2	118	22
KAOR200 ET2	201	1	6-T ME2	1002	32
3-CDéc ET2	250	1662			

Contributions absolues des espèces majeures à la constitution des axes F1 et F2

Code	Espèce	Distribution (E : endémique, C : cosmopolite, T : tératogène)	F1	F2
ACTR	Achnanthydium contrarea (Lange-Bertalot & Steindorf)Lange-Bertalot	E	103	243
ADIN	Achnanthydium indicatrix (Lange-Bertalot & Steindorf)Lange-Bertalot	E	304	176
ADPI	Achnanthydium pirogueanum (Maillard) Lange-Bertalot	E	153	773
ADSA	Achnanthydium saprophilum (Kobayasi et Mayama) Round & Bukhtiyarova	C	91	0
AMUS	Adafia muscora (Kociolek & Reviere) Moser Lange-Bertalot & Metzeltin	T	1070	0
ANCL	Achnanthes neocaledonica Manguin ex Kociolek & Reviere	E	1	542
BANG	Brachysira angusta (Maillard) Lange-Bertalot & Moser	E	498	33
CAET	Caloneis aequatorialis Hustedt var. transitoria Manguin ex Kociolek & Reviere	E	64	4
CBRL	Cymbella bourrellyi Maillard	E	82	528
CBYA	Cymbopleura yateana (Maillard) Krammer & Lange-Bertalot	E	29	655
CGUI	Coxia guillauminii (Manguin) Moser Lange-Bertalot & Metzeltin	E	1109	0
CLTR	Cymbella latarea Maillard	E	292	15
CPND	Cymbella pernodensis Maillard	E	16	254
CPNE	Cymbopleura nekliensis (Maillard) Krammer & Lange-Bertalot	E	9	774
DCOF	Diademes confervacea Kützing var. confervacea	T	60	0
DCOS	Delicata costei (Maillard) Krammer & Lange-Bertalot	E	211	125
DGAJ	Delicata gadjana Krammer	E	386	23
DWAT	Denticula watanabei Moser Lange-Bertalot & Metzeltin	E	110	151
EKRM	Epithemia krammeri Moser Lange-Bertalot & Metzeltin	E	474	3
ENCL	Encyonema neocaledonicum (Manguin) Krammer	E	23	440
EOMI	Eolimna minima (Grunow) Lange-Bertalot	C	839	7
EONE	Eolimna neocaledonica (Manguin) Moser Lange-Bertalot & Metzeltin	E	365	24
ESFO	Encyonopsis subfonticola Krammer	E	56	189
ESTN	Encyonema subtenerum Lange-Bertalot & Krammer	E	17	186
ETIO	Encyonema thioense Lange-Bertalot & Krammer	E	31	1160
ETNR	Encyonema tenerum Krammer	E	10	341
FNEO	Frustulia neocaledonica Manguin ex Kociolek & Reviere	E	320	0
FPER	Frustulia peridotitica Moser Lange-Bertalot & Metzeltin	E	92	274
GLGN	Gomphonema lagenula Kützing	T	512	2
GRIC	Gomphonema ricardii Maillard	E	260	365
NLEH	Navicula lehmanniae Lange-Bertalot & Steindorf	C	96	475
NMMN	Navicula melanesica Lange-Bertalot & Steindorf morphotype minor	E	81	353
NPAL	Nitzschia palea (Kützing) W. Smith var. palea	C	602	7
NTRV	Navicula trivialis Lange-Bertalot var. trivialis	C	147	5
SSEM	Sellaphora seminulum (Grunow) D.G. Mann	C	202	3
ULAN	Ulnaria lanceolata (Kütz.) Compère	T	441	41
UULN	Ulnaria ulna (Nitzsch.) Compère	C	44	0