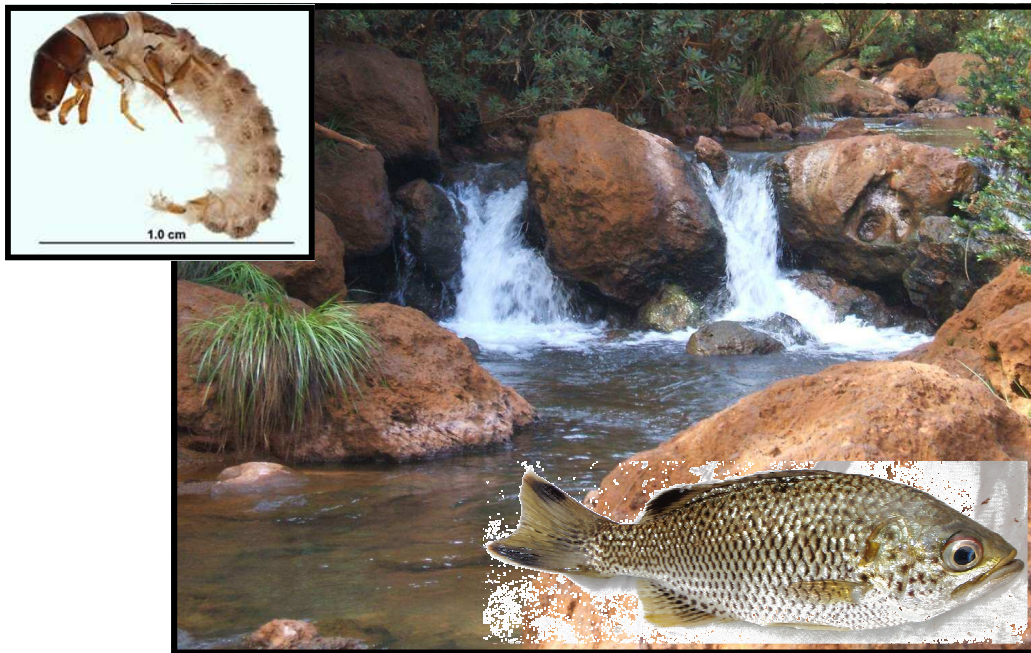


Suivi du fonctionnement physico-chimique et biologique du Creek de la Baie Nord (2000—2009): Synthèse.



AFFAIRE : Avenant contrat 2277
DATE : Mars 20120

AVANT-PROPOS

Conformément à sa politique environnementale et à celle de sa maison mère CVRD-Inco, Vale Inco Nouvelle-Calédonie adhère au concept de développement durable tel que défini au sommet de la Terre de Rio en 1992. De plus en accord avec les principes de conservation de la biodiversité énoncés entre autre dans le guide de bonnes pratiques environnementales¹ élaboré par le Conseil International des Mines et des Métaux (ICMM), conseil dont CVRD-Inco est membre, Vale Inco Nouvelle-Calédonie a entrepris depuis 1992 une série d'études visant à caractériser la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes de la zone d'influence du projet minier et métallurgique du Grand Sud. Ces études visant au départ à caractériser l'état initial du site afin d'identifier les enjeux environnementaux, les impacts du projet et les mesures réductrices et/ou compensatoires à mettre en œuvre, ont conduit à l'élaboration de plans de suivi environnementaux spécifiques à chaque problématiques rencontrées. Ces plans dont le principal objectif est d'évaluer au cours des différentes phases du projet (construction, exploitation, fermeture), les impacts résiduels du projet sur son environnement immédiat et éloigné, permettent également d'approfondir les connaissances sur la biodiversité et le fonctionnement des différents systèmes tant abiotiques que biotiques composant l'écosystème du Grand Sud Calédonien.

Concernant le milieu dulçaquicole, Vale Inco Nouvelle-Calédonie a lancé dès le début des années 90 des études visant à caractériser l'état initial des principaux creeks drainant les différents bassins versants localisés dans la zone d'influence directe ou indirecte du projet. Ces études réalisées par plusieurs prestataires sous la supervision de la SNC Lavalin dès 1993 et reprises par RESCAN à partir de 2000, ont porté à la fois sur les composantes abiotiques (physico-chimie, hydrologie) que biotiques (faune benthiques, faune ichthyenne, flore,...) de ces écosystèmes. Ces études ont essentiellement concerné les trois bassins versants susceptibles d'être impactés par le projet : le bassin versant de la rivière Kwé (40 km²), le bassin versant de la rivière Kadji (13,8 km²) et le bassin versant de la Baie Nord (7,3 km²). Les bassins versants des rivières Kuébini, Wajana, Rivière Bleue et du Carénage, ont également été échantillonnés.

Suite à la compilation de données acquises sur ces trois bassins versant, un plan de suivi de la qualité du milieu dulçaquicole a été mis en place. Ce plan de surveillance basé initialement sur le suivi de trois stations localisées sur le Creek de la Baie Nord (station 6-T), le creek Kadji (Station 5-E) et le creek Kwé (station 1-E), a été étoffé dans le cadre des différentes demande d'autorisation d'exploitation faites au titre des ICPE². Ainsi, plusieurs stations furent ajoutées et des fréquences de suivi furent modifiées dans le cadre de l'obtention de l'arrêté n°1228-2002/PS du 25 septembre 2002, modifié par l'arrêté n°541-2006/PS du 6 juin 2006 autorisant l'exploitation de la Station d'épuration du site, ainsi que de l'arrêté n°890-2007/PS du 12 juillet 2007 relatif aux utilités de la

¹ Good Practice Guidance for Mining and Biodiversity (Guide des Bonnes pratiques environnementale) : Guide établi par l'International Council of Mining and Metals (ICMM) regroupant les 16 plus grandes sociétés minières, ainsi que 25 associations soustraitantes

² ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'environnement.

centrale électrique au charbon sises lot n°59 et n°49 section Prony-Port Boisé, au lieu dit Goro, commune du Mont-Dore.

De même, fin 2007 et pour l'année 2008, dans le cadre de la révision de son plan de suivi environnemental, Vale Inco Nouvelle-Calédonie décida d'augmenter le nombre de stations de suivi sur son site, afin que le plan susmentionné englobe la majorité des cours d'eau présents dans la zone d'influence du projet. Ce nouveau plan de suivi se composait au total de 9 stations réparties sur le bassin versant du creek de la Baie Nord, du creek Kadji et du creek Kwé.

A partir de 2009, afin d'intégrer les compléments demandés à son plan de suivi révisé, les directives de l'article 7 des prescriptions techniques annexées à l'arrêté d'autorisation n°575-2008/PS du 6 mai 2008 relatif à l'unité d'épuration de la base-vie, ainsi que pour intégrer les directives de l'arrêté n°1467-2008/PS du 9 octobre 2008 relatif à l'exploitation de l'usine de traitement de minerai de nickel et de cobalt ce plan de suivi fût modifié, deux nouvelles stations de suivi furent intégrées (6-U et DOL-1).

Parmi les trois bassins suivis, au cours de la phase de construction qui est sur le point de se terminer, le bassin du creek de la Baie Nord fût particulièrement exposé aux risques d'altération induis par le projet. Ces risques ont été principalement liés:

- aux opérations de terrassement (augmentation du transport de la charge particulaire et métaux associés en direction des creeks par les eaux de ruissellement) ;
- aux rejets des eaux usées de la Base vie du projet ;
- aux rejets des eaux de refroidissement de la centrale de Prony Energie ;

Afin de limiter les effets de ces risques chroniques sur la qualité physico-chimique et biologique du creek, plusieurs mesures réductrices avaient été mises en place dès le début de la phase de construction (plan de gestion des eaux et bassins de décantation, station d'épuration,...)

Outre l'existence de ces risques chroniques d'altération, le chantier de construction a également été à l'origine de l'apparition de risques accidentels d'altération de la qualité des eaux du creek de la Baie Nord. A ce sujet il est important de signaler la survenue lors de la phase de construction, de deux incidents majeurs au niveau de l'usine ayant eut un impact sur le creek : la rupture d'une digue d'un bassin de sédimentation en février 2006 et la fuite d'une quantité importante d'acide sulfurique en avril 2009.

Arrivant à une période charnière marquant la fin de la phase de construction du projet et annonçant le début de l'entrée en phase d'exploitation, Vale Inco Nouvelle-Calédonie a souhaiter procéder à une synthèse de l'ensemble des données collectées sur le bassin versant du creek de la Baie Nord au travers des différentes phases de caractérisation de l'état initial et de suivi. Cette synthèse doit permettre de faire un point sur l'évolution de la qualité physico-chimique et biologique du creek de la Baie Nord depuis l'entrée en construction du projet, de caractériser l'existence et le degré d'importance des effets liés au projet et ainsi d'évaluer le bon fonctionnement des barrières de prévention et de protection mises en place.

D'autre part cette synthèse permettra également de faire un point sur la qualité du jeu de données acquis et si nécessaire d'optimiser les opérations de suivis lors de la phase d'exploitation.

Signalons enfin que ce travail répond également en partie à la recommandation n°5 de la feuille de route pour la mise en place d'indicateurs écologiques et sociaux diffusée par la Province Sud³, énonçant la nécessité d'exploiter les séries chronologiques de données existantes afin de mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes aquatiques.

Le présent document constitue donc le rapport de synthèse de l'ensemble des données physico-chimiques et biologiques acquises sur le Creek de la Baie Nord depuis le début du projet Vale Inco Nouvelle-Calédonie. Les analyses et interprétations qu'il contient ont été faites en toute objectivité afin de modéliser au mieux le fonctionnement écosystémique du creek et d'en caractériser l'évolution depuis le début du projet.

³ Feuille de route indicateurs écologiques et sociaux. EMC²I-Province Sud.

SOMMAIRE

1	<u>GENERALITES</u>	5
2	<u>EVOLUTION DES CONDITIONS ABIOTIQUES DU CREEK :</u>	6
2.1	CARACTERISATION DES CONDITIONS ABIOTIQUES NATURELLES DU CREEK :	6
2.2	EVOLUTION DES CONDITIONS ABIOTIQUES DU CREEK DURANT LA PHASE DE CONSTRUCTION DU PROJET :	14
3	<u>EVOLUTION DES COMMUNAUTES DE MACROINVERTEBRES AU SEIN DU CREEK</u>	48
3.1	CARACTERISATION DE L'ETAT INITIAL DES COMMUNAUTES BENTHIQUES DU CREEK DE LA BAIE NORD :	49
3.2	EVOLUTION DE LA QUALITE BIOLOGIQUE DES EAUX DU CREEK	50
4	<u>EVOLUTION DES COMMUNAUTES ICHTYENNES AU SEIN DU CREEK</u>	74
4.1	CARACTERISATION ET PHYSIONOMIE DU RESEAU DE SUIVI DE LA FAUNE ICHTHYENNE :	74
4.2	CARACTERISATION DE LA FAUNE ICHTHYENNE DU CREEK DE LA BAIE NORD	77
4.3	EVOLUTION DE LA COMMUNAUTE ICHTHYENNE DU CREEK BAIE NORD SUITE A L'ENTREE EN PHASE DE CONSTRUCTION DU PROJET DE VALE-INCO NC	89
5	<u>CONCLUSION GENERALE</u>	95

1 GENERALITES

Le bassin versant du creek de la Baie Nord est un des cinq bassins composant le vaste bassin versant de la Baie de Prony. L'ensemble du bassin versant de la Baie de Prony est, comparativement aux autres bassins versants du secteur de Goro (Bassins de la Kwé, du Trou Bleu, de la Wajana et de la Kuébini), caractérisé par un régime de précipitation distinct. En effet le Mont Négoné qui ceinture le flanc Est du bassin de la Baie de Prony, limite fortement les apports atmosphériques humides portés par les alizés. Sur la base des estimations de Météo France (1995), ce bassin versant reçoit des précipitations annuelles moyennes estimées de l'ordre de 1 014 mm, soit 3 fois inférieures à celles reçues par les autres bassins du secteur ($\approx 3\,000$ mm/an).

Le bassin de la Baie Nord est le plus petit des 5 bassins composant le bassin de la Baie de Prony. Il couvre une superficie de 7,3 km² et présente une longueur maximale de 5,3 km. Le creek de la Baie Nord est le principal cours d'eau drainant le secteur. Il s'écoule des contreforts Ouest des reliefs du Mont Négoné, en direction de l'Ouest avec une légère orientation Nord, pour se jeter en Baie de Prony au niveau de la rade du Nord. Ce creek reçoit tout au long de son parcours plusieurs affluents, dont le principal draine la partie Sud-Est du bassin et se jette à un peu plus d'1 km en amont de l'embouchure.

Comme nous l'avons vu en avant propos, le bassin versant de la Baie Nord est un des trois bassins versant du secteur de Goro localisés dans la zone d'influence du projet de Vale Inco Nouvelle-Calédonie. En effet, l'usine de traitement du minerai et ses installations connexes sont implantées dans la partie amont du bassin. Une partie du chevelu composant le cours supérieur du creek a été dévié afin de contourner par le Nord et le Sud la plateforme portant les installations susmentionnées. De même les eaux de pluies tombées au droit de la plateforme industrielle sont collectées au niveau de fossés et bassin de sédimentation et lors de la phase d'exploitation des installations il est prévu de les réutiliser dans le *process*, et en fonction de leur qualité de les rejeter dans le creek ou bien dans le canal de la Havanah. Les principaux risques d'impacts liés au projet, identifiés lors de l'élaboration de l'étude d'impact, sont :

- Une altération du débit du creek ;
- Une augmentation de la charge particulaire et métaux traces associés transitant par le creek ;
- Une altération chimique chronique (résidus hydrocarbures, effluents de la station d'épuration et de la centrale électrique,...) ou accidentelle (substances chimiques, MES, métaux traces,...).

Afin de minimiser et d'évaluer ces impacts une série de barrières de prévention ou de protection et un plan de suivi de la qualité des eaux du creek, ont été mis en place. Parmi les principales barrières de prévention mises en place nous pouvons noter :

- L'élaboration d'un plan de gestion des eaux de ruissellement du site et de son environnement (fossés de dérivation, de collecte et bassins de sédimentation) ;
- La mise en place d'une station d'épuration pour traitement des eaux domestiques ;

- La mise en place d'ouvrages spécifiques (cuvette de rétention, bassin de contrôle,...) au droit des différentes installations.

D'autre part le plan de suivi de la qualité de l'eau initié en parallèle a permis de suivre et d'évaluer le bon fonctionnement de l'ensemble des barrières mises en place. En ce qui concerne le Creek de la Baie Nord, ce plan de suivi a initialement été axé sur 4 stations de mesures réparties le long du creek en aval de la plateforme des installations de l'usine (Station F, G, H et I – cf. illustration ci-dessous). Comme nous l'avons vu au sein de l'avant propos du présent mémoire, ce plan de suivi a progressivement évolué dans le temps afin de répondre aux différentes prescriptions des arrêtés ICPE successifs.

2 EVOLUTION DES CONDITIONS ABIOTIQUES DU CREEK :

2.1 CARACTERISATION DES CONDITIONS ABIOTIQUES NATURELLES DU CREEK :

Avant de définir l'état initial du creek de la Baie Nord, il nous apparaît important de rappeler que de manière générale, la physico-chimie des cours d'eau, hors présence et activité anthropique, est fortement influencée par de nombreux paramètres tels les conditions météorologiques (précipitation/évaporation), la géologie des sols et sous-sols des bassins-versants, les courants de débordement des eaux souterraines... Au vu des paramètres qui influencent les conditions physico-chimiques naturelles d'un cours d'eau, il apparaît donc évident que ces dernières présentent des fluctuations naturelles. En Nouvelle-Calédonie, le fonctionnement des cours d'eau est fortement influencé par les conditions climatiques. En effet, l'alternance de saisons sèches et de saisons plus humides, couplée aux fortes pentes des cours d'eau, confèrent à ces derniers un régime de type torrentiel (augmentation importante et brusque de débit en saison des pluies et rapide retour à la normale). L'influence des précipitations sur les conditions hydrologiques des creek apparaît donc comme un paramètre important dans le fonctionnement naturel des creeks

2.1.1 ANALYSE DES DONNEES HYDROLOGIQUES

A partir des données acquises au niveau de la station de suivi localisée au sein du bassin versant de la rivière Kwé, une estimation des débits moyen, minimum et maximum du creek de la Baie Nord à son embouchure sur 10 ans a été faite par le Projet Vale Inco Nouvelle-Calédonie. Les débits estimés sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Débit moyen mensuel sur 10 ans (m ³ /s)													
	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne
Moyenne	0,54	0,59	0,67	0,78	0,46	0,57	0,30	0,22	0,21	0,10	0,16	0,32	0,41
Minimum	0,05	0,11	0,18	0,20	0,14	0,15	0,11	0,08	0,08	0,06	0,05	0,05	0,11
maximum	1,86	2,03	1,46	2,14	2,47	1,61	0,90	0,51	0,71	0,43	0,84	1,63	1,3

Source Demande d'Autorisation d'exploitation Goro-Nickel 2007 – Volume III Etude d'impact

Ces estimations permettent de constater que durant la période considérée, le Creek de la Baie Nord présentait sur 10 ans un débit moyen « naturel » estimé de 0,41 m³/s. Le débit moyen le plus faible a été estimé pour le mois d'octobre (0,10 m³/s), le mois d'avril présentant le débit moyen le plus élevé (à 78 m³/s). Le débit le plus faible a été estimé pour les mois de décembre/janvier en fin de saison sèche (0,05 m³/s), alors que le débit maximum a été estimé pour les mois d'avril/mai en fin de saison des pluies (2,14 et 2,47 m³/s respectivement pour ces deux mois). Comme nous pouvons le constater au regard de l'évolution annuelle des débits, le creek de la Baie Nord présente un caractère torrentiel avec de fortes variations de débits entre les saisons humide et sèche (débit d'étiage moyen environ 8 fois inférieur au débit moyen maximal). De même d'une année à l'autre, de fortes variations peuvent être enregistrées (le débit minimal estimé sur 10 ans est 50 fois plus faible que le débit maximal estimé sur la même période). Ces fortes fluctuations de débits vont donc fortement influencer les paramètres physico-chimiques du creek, ainsi que l'ensemble des compartiments biocénétiques y évoluant.

2.1.2 ANALYSE DES DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES:

Au vu des fluctuations saisonnières importantes de débits constatées sur le creek de la Baie Nord, il apparaît donc nécessaire de procéder à un ensemble de séries de mesures couvrant la totalité du cycle saisonnier afin de caractériser le fonctionnement physico-chimique de ce dernier.

Dans le cadre du projet Vale Inco Nouvelle-Calédonie, une série de mesures physico-chimiques ont été effectuées sur le creek de la Baie Nord entre 1994 et 2000, dans le cadre de la caractérisation de l'état initial de la qualité physico-chimique des eaux de surface. Ces mesures sont reportées ci-dessous sous la forme de moyennes, minima et maxima, à titre informel. En effet, s'il apparaît difficile sans connaître les conditions d'acquisition de ces données (saisons, précipitations associées,...), de caractériser le fonctionnement naturel saisonnier du creek de la Baie Nord, ces valeurs peuvent toutefois nous servir de base de comparaison, toute prudence gardée, dans le cadre de l'interprétation des données acquises ultérieurement au cours des différents suivis effectués sur le creek. D'autre part, l'analyse de ces valeurs nous permet de constater que le creek de la Baie Nord présente une physico-chimie typique des cours d'eau sur sol latéritique. Ses eaux présentent de faibles concentrations en nutriments (faibles concentrations en azote et phosphate) et sont de fait peu minéralisées. Elles présentent au contraire des concentrations en métaux traces supérieures à celles des eaux des régions tempérées.

Paramètres	Moyenne	Minimum	Maximum
Conductivité	99	94	116
pH	7,7	7,47	8,02
Chlorure	12,2	12,1	12,4
Nitrate	0,5	0,071	1,1
Nitrite	0,005	0,002	0,005
Orthophosphate dissous	0,05	0,002	0,05
Aluminium	0,0041	0,002	0,019
Chrome	0,0082	0,0059	0,015
Cobalt	0,0005	0,0003	0,001
Fer	0,047	0,03	0,09
Magnésium	8,8	7,92	13,1
Manganèse	0,00739	0,0014	0,0136
Nickel	0,0147	0,009	0,0161
Potassium	0,27	0,2	0,3
Sodium	7,8	6,3	7,8

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau du creek de la Baie Nord, 1994 – 2000 (source : Etude d'impact : Analyse de l'état initial du milieu, Tome 3 volume 1 – décembre 2001 – Projet Goro-Nickel - modifié)

Outre cette série de résultat, au cours de l'année 2000 dans le cadre du programme de suivi de l'usine Pilote, une série de mesures mensuelles a été réalisée au niveau des stations de suivi F, G, H et I réparties au sein du bassin versant du creek. Notons que les stations F et H et I sont localisées le long du linéaire du creek de la Baie Nord, la station F étant localisée la plus en amont, la station I étant localisée sur la partie aval, 500 en amont de la zone estuarienne. La station G est quant à elle située sur un des affluents du creek. L'ensemble des mesures effectuées mensuellement au cours de cette année là sont données dans les tableaux reportés en annexe 1. Au sein de cette série de mesure, un point 0 (avant mise en activité de l'usine pilote), a été fait.

A la lecture de ces tableaux de données nous pouvons constater que seules les concentrations en oligoéléments minéraux (Silicium, Magnésium, calcium, sulfate) et les concentrations en métaux traces (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, CrIV), ont été suivies. Rappelons en effet, que ce suivi a été mis en place pour détecter les impacts potentiels de l'usine pilote et de son effluent sur le creek. Aucun rejet de matière organique n'étant attendu, ces paramètres n'ont pas été intégrés au réseau de mesure. Notons toutefois que des mesures de DBO5 et DCO ont été effectuées mensuellement au droit de la station I. De même, cette unité ne devant générer aucune augmentation de la charge particulière du creek, aucune mesure de MES n'a été réalisée ailleurs qu'au droit de la station I.

L'analyse des valeurs mesurées nous apportent des informations importantes dans le cadre de la caractérisation du fonctionnement « naturel » saisonnier du creek.

En effet, en intégrant les 200 données physico-chimiques relatives aux concentrations en oligoéléments minéraux véhiculés par le creek au cours de l'année 2000 au sein d'une analyse en composant principale (ACP), analyse multivariée permettant le traitement de données quantitatives, suivie d'une classification hiérarchique de Ward, les fluctuations saisonnières du creek ont pu être mises en évidence. En effet, cette analyse, nous a permis de synthétiser graphiquement l'ensemble

de l'information contenue par ce jeu de données sur un plan en deux dimensions et d'étudier ensuite la répartition relative des différents individus.

Le résultat graphique de l'ACP menée sur les 38 points de mesures analysés, reporté ci-dessous (cf. Fig. 1), nous permet de constater que la projection de l'ensemble des modalités sur le plan défini par les deux premiers axes de l'analyse en expliquant plus de 80 % de la variabilité totale, retranscrit bien la structure du jeu de données. Cette première analyse nous permet de constater l'existence d'une corrélation entre les variables « pluie », « [Mg] » et « [Si] ». En effet, la première est antécorrélée aux deux autres selon l'axe 2 de cette analyse (cf. : Fig.1a). La matrice des corrélations calculées sur la base de cette analyse montre une corrélation de - 0,43 entre les variables « pluies » vs « [Mg] » et « pluie » vs « [Si] ». D'autre part, nous constatons une covariation des [Ca] et des [SO₄] dénotant une origine commune de ces éléments (essentiellement issus de la dissolution de gypse (CaSO₄ – 2H₂O)).

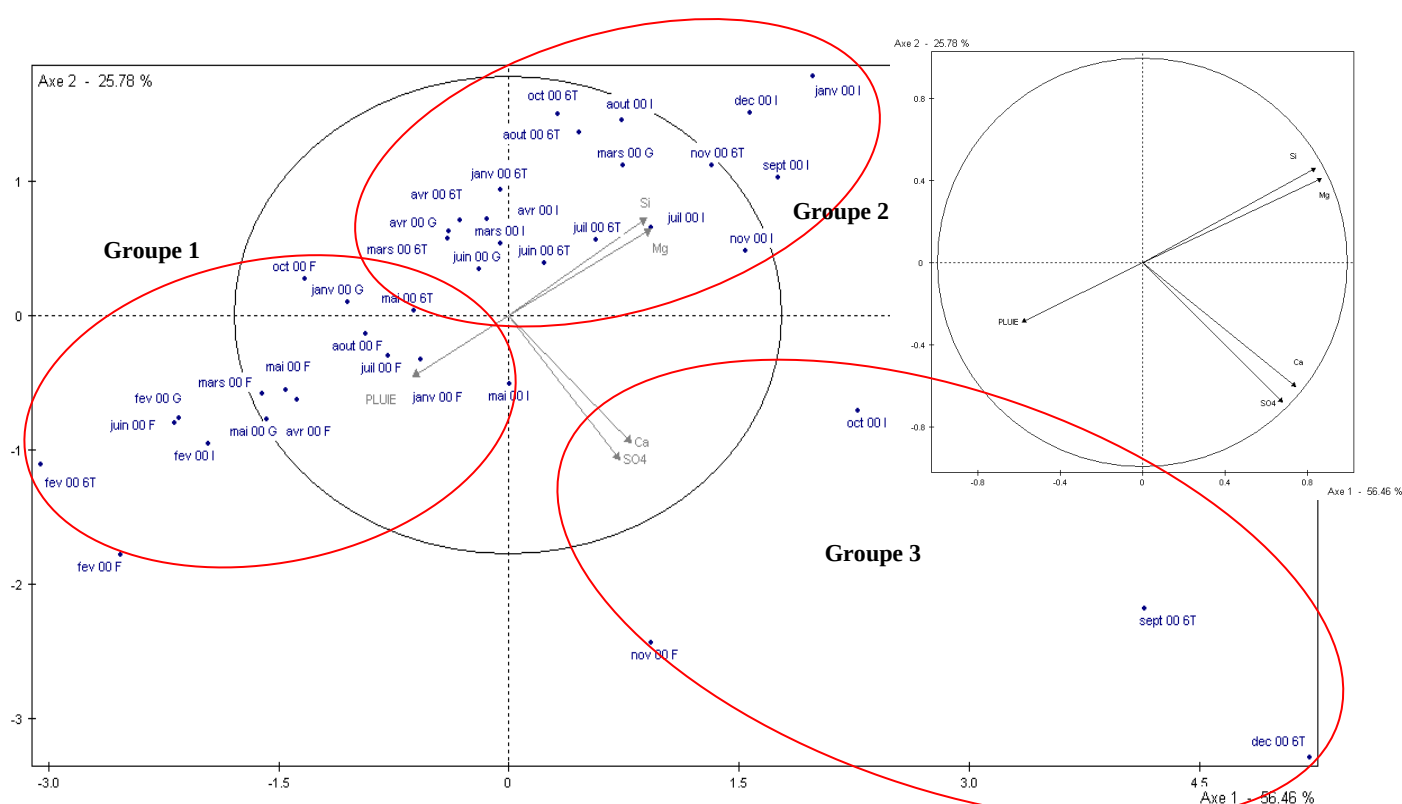


Fig. 1 : Projection sur le plan défini par les deux premiers axes des résultats de l'ACP menée sur les 5 variables physico-chimiques relatives aux 48 points de mesures effectués au niveau de 4 stations du réseau de suivi de la qualité physico-chimique du creek de la Baie Nord mis en place par VALE-INCO NC.

Par ailleurs cette analyse nous permet de discriminer graphiquement trois ensembles d'individus distincts. De la gauche vers la droite du plan nous pouvons individualiser :

- un premier groupe composé de 16 points de mesures caractérisés par des précipitations mensuelles moyennes à fortes, de faibles concentrations en Mg et Si, ainsi qu'en SO₄ et Ca ;

Classification hiérarchique directe

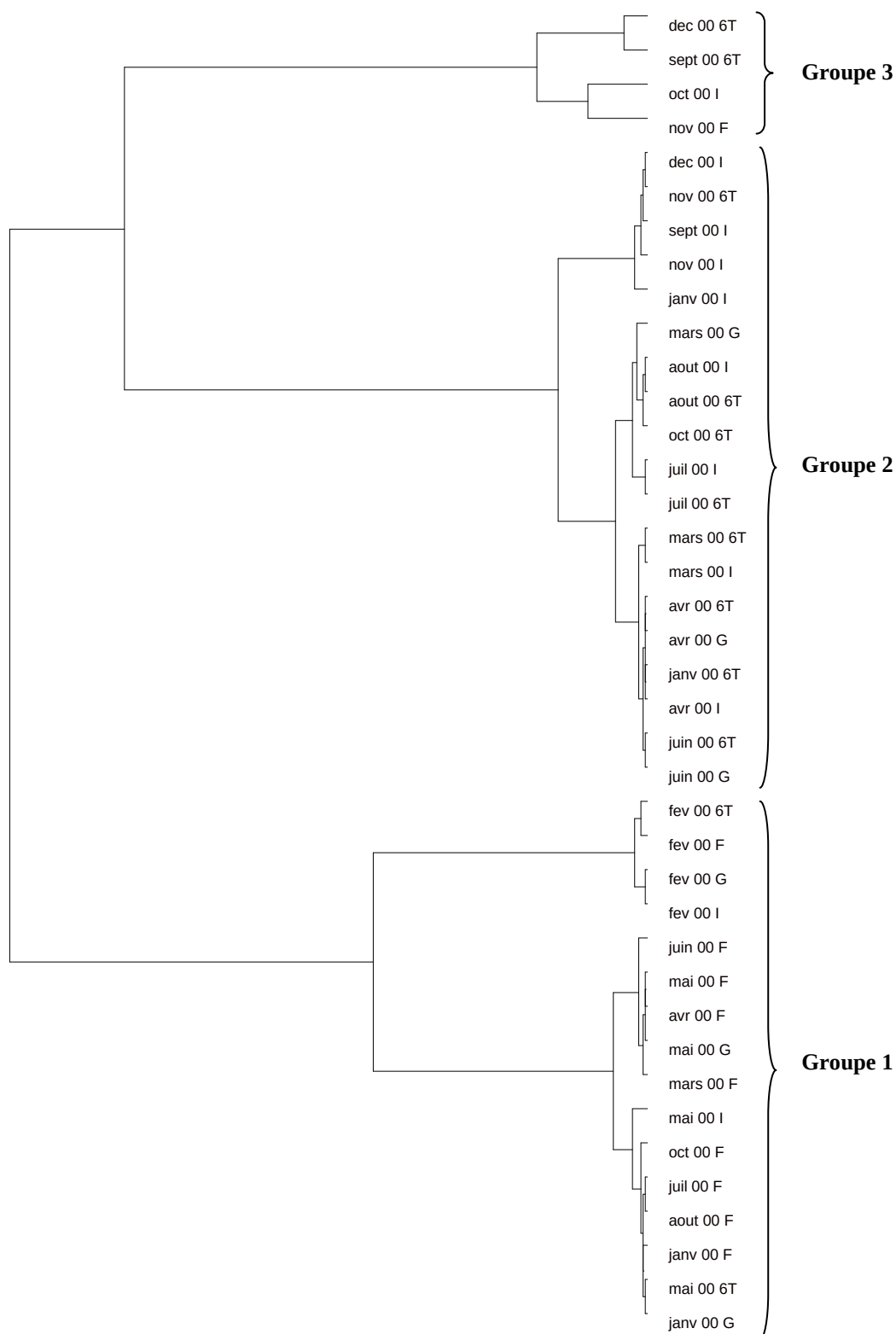


Fig.2 : Résultats de la classification hiérarchique de Ward menée sur les deux premiers axes factoriels de l'ACP menée sur les 5 variables physico-chimiques relatives aux 48 points de mesures effectués au sein du réseau de suivi de la qualité de la qualité physico-chimique du creek de la Baie Nord mis en place par VALE-INCO NC.

- Un second groupe composé de 19 points de mesure caractérisés par des précipitations mensuelles moyennes à faibles et des concentrations en Mg et Si élevées, ainsi que des concentrations en SO_4 et Ca moyennes ;
- Un troisième groupe composé de 4 points de mesures caractérisés par de faibles précipitations et de fortes concentrations en SO_4 et Ca, ainsi qu'en Mg et Si.

La classification hiérarchique de Ward menée sur les deux premiers axes de l'ACP confirme les trois classes discriminées graphiquement ci-dessus (cf. Fig. : 2).

Cette analyse nous permet de constater que le régime pluviométrique, pris ici par défaut en l'absence de mesures de débits mensuelles sur le creek pour l'année 2000, contrôle les concentrations en oligoéléments Mg et Si au sein du creek de la Baie Nord. En effet, lors des périodes pluvieuses, on assiste à une dilution des concentrations de ces différents éléments et au contraire en période sèche, les diminutions de débit et hauteur d'eau conduisent à une concentration de ces deux éléments. De manière générale nous pouvons donc nous attendre en période d'étiage à une concentration en oligoéléments des eaux du creek. Cette concentration en éléments dissous en période d'étiage associée à une augmentation de l'incidence lumineuse, apparaît favorable au développement de la flore pélagique et benthique du creek. L'évolution des valeurs de pH observée au cours de l'année 2000 au droit de la station I (cf. Fig. 3, graphe B), semble confirmer cette hypothèse. En effet, rappelons que la flore aquatique de part son activité photosynthétique et la consommation de CO_2 en période diurne a tendance à engendrer une augmentation de ce paramètre (le CO_2 est un des principaux éléments régissant l'acidité des milieux aquatiques). Lors de l'année 2000 ce paramètre a oscillé autour de 8 pour les mois les plus secs, alors qu'il a oscillé autour de 7 pour les mois les plus humides.

Si nous regardons de plus près maintenant les concentrations en Mg et Si mesurées en 2000 au droit des différentes stations de suivi localisées dans le bassin versant du creek Baie Nord (cf. Fig. : 3 graphes :B, D, F et H), nous constatons bien au droit de chaque station le phénomène de dilution/concentration lié au régime des précipitations : chute des concentrations avec le début de la saison des pluies (en février pour l'année 2000), puis une augmentation progressive de ces concentrations entre juillet et décembre (saison sèche). D'autre part, pour chacune des stations suivies sur le creek (F, H et I), nous pouvons constater que pour ces deux éléments les valeurs maximales atteintes en fin de saison d'étiage 2000 (décembre 2000), sont similaires aux valeurs mesurées lors de l'établissement du point zéro (décembre 99 – janvier 00 : avant rejet de l'effluent de l'usine pilote), signe d'une évolution naturelle des concentrations.

En ce qui concerne les concentrations en Sulfates et Calcium, une tendance similaire à celles observées pour le Mg et Si peut être observée (cf. Fig. 3, graphes : A, C et E) : des valeurs qui se maintiennent entre 2 et 4 mg/L et 0,1 et 1, 5 mg/L respectivement pour les concentrations en SO_4 et Ca, durant la saison humide et une augmentation de ces dernières lors des mois les plus secs (septembre, novembre et décembre). Les valeurs en SO_4 atteintes en fin de période d'étiage 2000 au droit des stations F et H présentent des concentrations respectivement 2 à 7 fois supérieures à celles mesurées lors de l'établissement du point zéro caractérisé par des précipitations plus importantes.

Outre ces éléments, nous avons vu ci-dessus, que plusieurs métaux traces ont été suivis lors de l'année 2000. Pour l'ensemble de ces éléments nous pouvons constater que durant toute la période de mesure les concentrations observées sont restées inférieures aux limites de détection des appareils utilisés. De même signalons que les concentrations en MES mesurées mensuellement au niveau de la station I, sont restées inférieures à 10 mg/L. Notons toutefois que le régime hydraulique du creek semble réagir rapidement aux précipitations, les brusques augmentations de débits étant suivies d'un retour à la normale assez rapide. Un prélèvement effectué hors de la brève fenêtre d'augmentation de débit suivant un épisode pluvieux conséquent ne permet donc pas, ou peu, d'appréhender les fluctuations de transport sédimentaire potentielles.

L'ensemble des données collectées au cours de l'année 2000 au droit des différentes stations de suivi localisées au sein du bassin versant du creek de la Baie Nord, bien que destinées à suivre le fonctionnement de l'usine pilote et ses potentiels impacts sur l'environnement, permettent de dresser un bilan sommaire de fonctionnement « naturel » du creek pour la période précédant les phases de travaux les plus importantes. Il ressort en effet de l'analyse de ces dernières que les concentrations en oligoéléments minéraux dissous présentent des fluctuations naturelles saisonnières essentiellement liées au régime des précipitations et donc aux débits et hauteurs d'eau du creek. Ce premier constat nous permet donc de supposer que le creek en tant que milieu récepteur de divers effluents du projet, présentera une sensibilité maximale en période d'étiage, période durant laquelle la dilution des effluents sera minimale.

En ce qui concerne les concentrations en MES et métaux traces associés, chaque mesure effectuée lors de l'année 2000 n'ayant pu être liée précisément à un évènement pluvieux, un débit et une hauteur d'eau, nous ne pouvons modéliser avec certitude les fluctuations naturelles de la charge sédimentaire transportée par le creek pour cette période. Le fait que les mesures mensuelles de MES réalisées au droit de la station I ne montrent aucune fluctuation ne nous permet pas de conclure avec certitude que naturellement le creek de la Baie Nord ne présente pas, lors d'épisodes pluvieux conséquents, des augmentations soudaines et brèves des charges sédimentaires transportées.

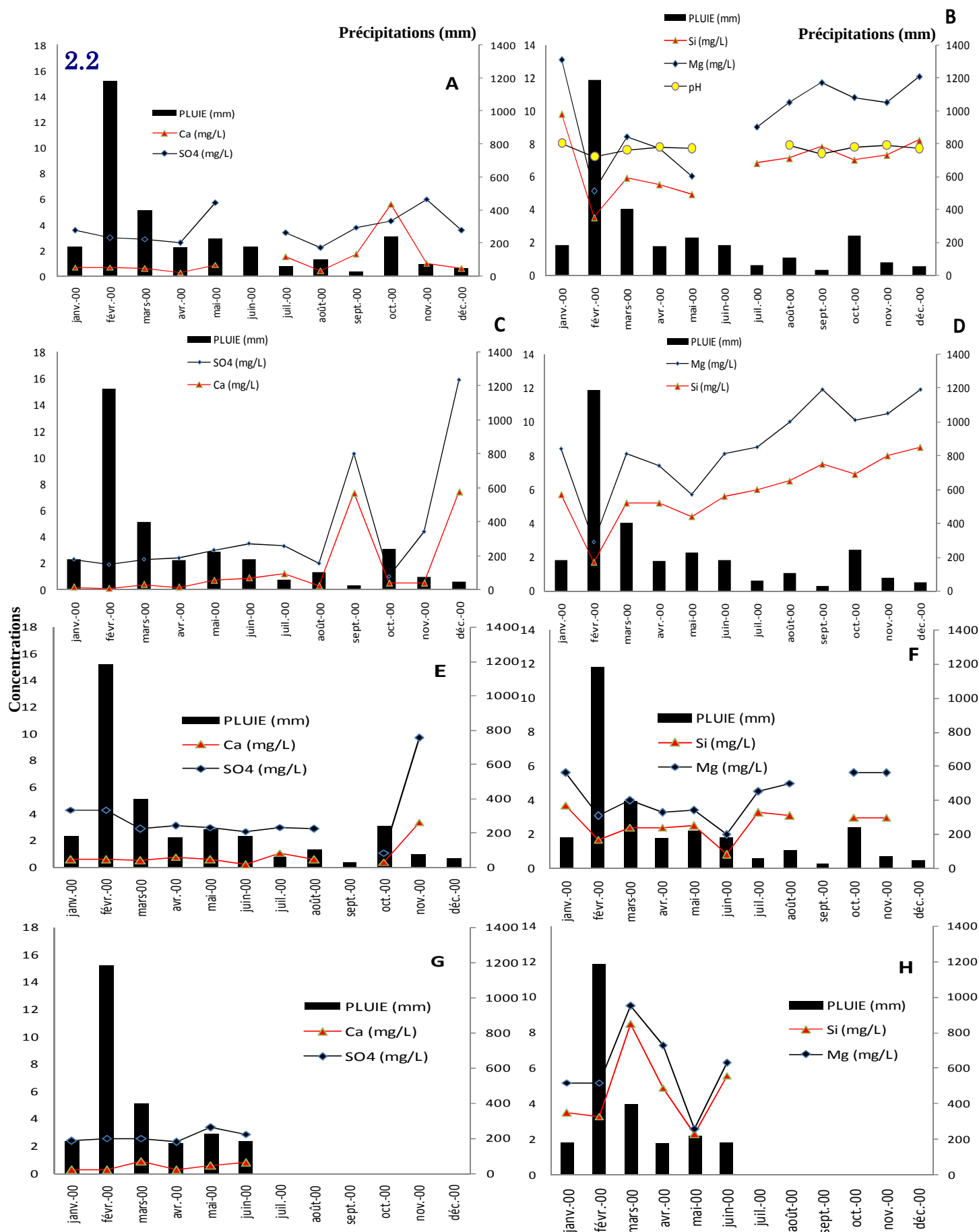


Fig 3 :Evolution mensuelle des paramètres physico-chimiques mesurées au sein des stations I (A et B) ; H (C et D) ; F (E et F) et G (G et H) au cours de l'année 2000 (Données sources : Vale-Inco NC).

EVOLUTION DES CONDITIONS ABIOTIQUES DU CREEK DURANT LA PHASE DE CONSTRUCTION DU PROJET :

Avant d'analyser l'évolution des conditions abiotiques du creek durant la phase de construction, il nous apparaît important de revenir sur le phasage des opérations qui ont eut lieu durant cette période (1998 – 2009).

Comme nous l'avons vu ci-dessus, avant de prendre la décision d'implanter une usine commerciale de Nickel dans le Grand Sud calédonien, Inco a procédé à la mise en place d'une usine pilote afin de tester le process de son usine. Ce pilote a été construit au sein du bassin versant du creek de la Baie Nord entre 1998 et 1999. Sa mise en exploitation a eu lieu en février 2000 et l'activité y fût maintenue jusqu'en juin 2002. Au regard des bons résultats acquis au travers du fonctionnement de l'usine pilote, Inco annonça en 2001 sa décision d'entreprendre la construction d'une usine commerciale de production de Nickel, également au sein du bassin versant du creek de la Baie Nord. Pour des raisons économiques, cette décision fût revue en 2002 et le projet mis en stand-by. Entre temps, seuls les travaux de construction de la base-vie du projet localisée au sein du bassin versant voisin, bassin de la rivière Kadji, avaient été amorcés. La reprise de la phase de construction fut annoncée en octobre 2004 et fut réellement effective à partir de 2005. Elle s'est poursuivie jusque début 2010.

2.2.1 EVOLUTION DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES DU CREEK DE LA BAIE NORD DURANT LA PHASE DE CONSTRUCTION

En phase de construction les principaux effets attendus sur le régime hydraulique du creek de la Baie Nord étaient principalement liés :

- A l'aménagement du site avec détournement du cours supérieur du creek autour de l'usine ;
- Aux terrassements et augmentation du coefficient de ruissellement au droit des zones défrichées ;
- Aux rejets des eaux traitées de la STEP de la base-vie ;

Au regard des causes énoncées ci-dessus une augmentation de la charge hydraulique du creek était envisagée. Afin de caractériser l'évolution du débit du creek durant la phase de construction et également s'assurer que le creek possède un débit suffisant ($>0,05 \text{ m}^3/\text{s}$) pour assurer la dilution des eaux traitées rejetées par la STEP, une station limnimétrique a été installée sur le cours principal du creek Baie Nord, au niveau du point 6-deb-07 ou 6-BNOR1 en janvier 2006. D'autre part, depuis janvier 2008, des mesures de débits sont effectuées mensuellement au droit de 12 stations localisées sur le cours principal du creek Baie Nord (6-deb-01, 02, 04, 05, 07, 08, 10 et 11) et sur ses principaux affluents (6-deb-03, 06, 09 et 12).

Afin de caractériser l'évolution du débit du creek au regard des valeurs estimées en conditions « naturelles », nous nous intéresserons dans un premier temps aux valeurs acquises entre janvier 2008 et décembre 2009 au droit de la station 6-deb-11 localisée à l'embouchure du creek. Rappelons en effet, que les estimations de débits « naturels » ont été faites pour l'embouchure du creek.

L'analyse comparative des valeurs moyennes mensuelles de débits mesurées en 2008-2009 et des valeurs naturelles estimées pour une période de 10 ans, nous révèlent que les débits moyens du creek pour la période 2008-2009 sont très proches des valeurs moyennes naturelles estimées (cf. Fig. 4). Aucune différence significative n'est observée. Le débit annuel maximal est observé en fin de saison des pluies (avril) et atteint une valeur moyenne de $0,97 \pm 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, similaire à la valeur moyenne maximale annuelle estimée de $0,78 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit d'étiage moyen mesuré en septembre de l'ordre de $0,15 \pm 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ est voisin du débit d'étiage moyen estimé ($0,10 \text{ m}^3/\text{s}$).

Sur la base de ces données il apparaît donc qu'aucune altération significative du régime hydrologique du creek de la Baie Nord ne soit survenue suite à l'entrée en phase de construction du projet Vale Inco Nouvelle-Calédonie.

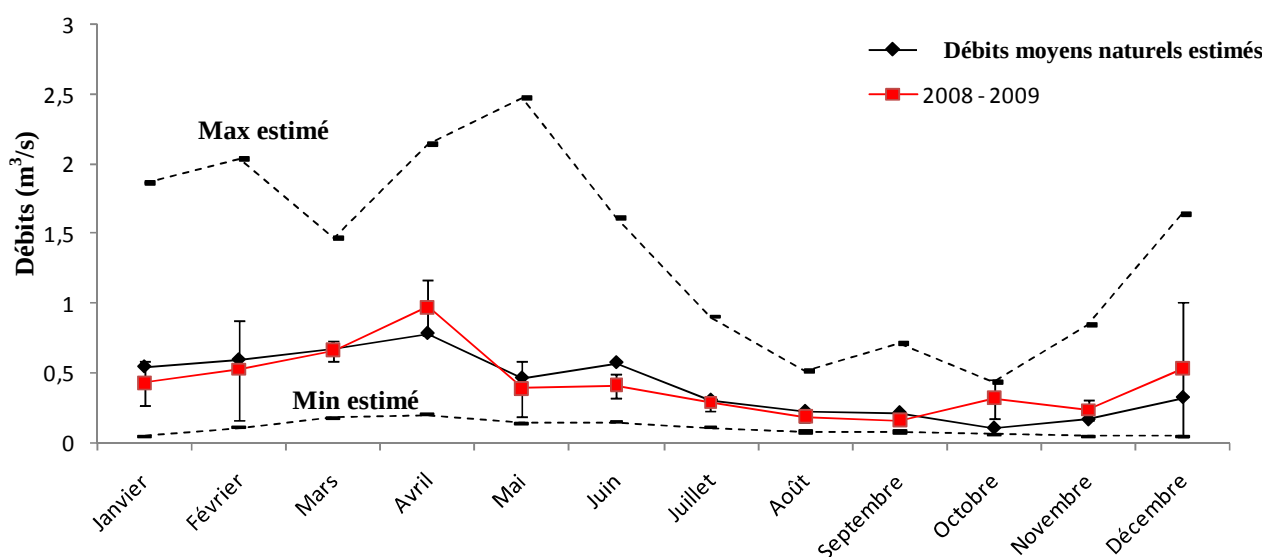


Fig. 4 : Evolution annuelle des débits moyens du creek de la Baie Nord au niveau de son embouchure (station 6 Deb11). Données « naturelles » : estimées ; Données 2008-2009 : mesurées (moyenne $\pm$ écart-type). (Données sources : Vale-Inco NC).

Sur la base de cette première constatation, nous pouvons donc estimer que les données hydrologiques acquises depuis 2006 au niveau de la station 6-deb-07 sont représentatives des conditions hydrologiques « naturelles » du creek. Le graphique présenté ci-dessous montrant l'évolution de la hauteur d'eau du creek au droit de la station 6-deb-07 le 22 et 23 mars 2008 en fonction des précipitations tombées, est donc caractéristique des fluctuations hydrologiques naturelles du creek. Nous pouvons constater à la lecture de ce dernier que suite aux fortes précipitations tombées dans la soirée du 22 mars 2008 (plus de 40 mm en 1h), le niveau du creek est monté de plus de 0,5 mètres en moins de 4 heures. Cette rapide montée est ensuite suivie d'un

retour à la normale plus progressif mais néanmoins rapide. En 24h, le niveau du creek est revenu à la hauteur caractérisant la période précédant l'épisode pluvieux. Ces données nous confirment le caractère torrentiel du creek de la Baie Nord.

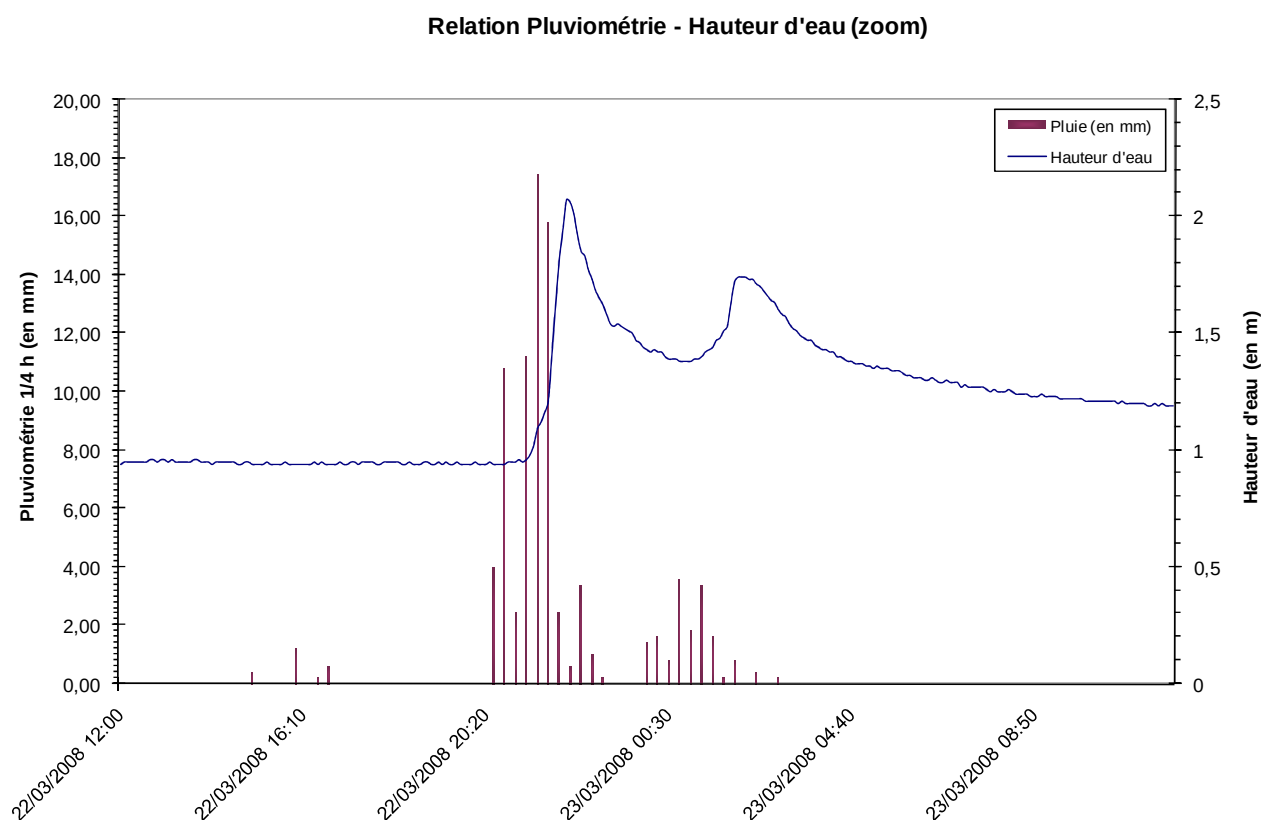


Fig. 5 : Evolution de la hauteur d'eau du creek Baie Nord en fonction des précipitations au droit de la station 6 Deb 07 (Données sources : Vale-Inco. NC).

Il sera important de garder en tête cette dernière constatation dans le cadre de l'interprétation des données physico-chimiques, notamment des concentrations en MES et métaux traces associés, fortement dépendantes du régime hydrologique du creek. De même signalons d'ores et déjà que ce type de régime hydraulique peut s'avérer fortement délétère pour les communautés d'invertébrés benthiques sujettes au phénomène de dérive. Les phénomènes brusques de montée des eaux sont en effet connus pour fortement déstructurer ces communautés ; les bonnes pratiques recommandent d'attendre 10 à 15 jours après un évènement pluvieux pour réaliser des prélèvements du macrobenthos.

Si nous revenons maintenant sur l'évolution hydrologique du creek entre janvier 2006 et décembre 2009 sur la base des résultats acquis au droit de la station 6-deb-7 (Fig. 6), nous pouvons constater que l'année 2006 présentant un pattern assez typique de l'évolution saisonnière des précipitations en Nouvelle-Calédonie (saison humide de janvier à mai et saison sèche de septembre à décembre), est suivie de 2 années présentant un régime des précipitations assez atypique. En effet, en 2007 et 2008, le début des périodes d'été (septembre) est marqué par la présence de fortes

précipitations à l'origine de fortes augmentations de débits et hauteurs d'eau. Il faut d'autre part souligner que l'année 2008 fût marquée par des pluies relativement abondantes (cumul annuel des précipitations = 3 449 mm), générant des débits moyens mensuels 3 à 4 fois plus élevés en saisons des pluies que ceux observés pour l'année 2006.

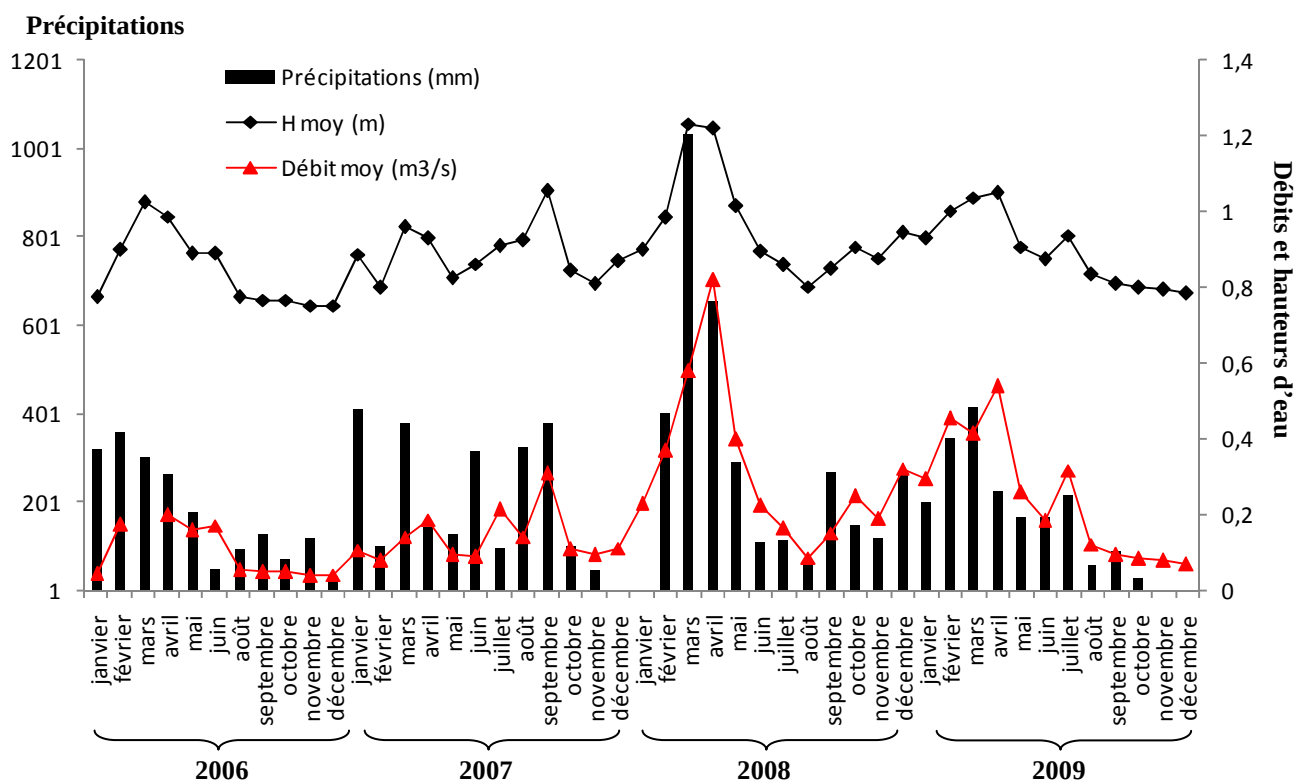


Fig. 6 : Evolution des précipitations (cumul mensuel), des débits moyens et hauteurs d'eau moyennes mensuelles au droit de la station 6 Deb07 entre janvier 2006 et décembre 2009 (Données sources : Vale-Inco NC.)

Durant toute cette période (2007-juillet 2009) le régime hydraulique du creek est apparu assez chaotique et hormis durant la brève période octobre/novembre 2008, à aucune période de l'année le creek n'a présenté des conditions hydrologiques stables. Concernant ce phénomène il est important de souligner ici que la Nouvelle-Calédonie a subi sur les années 2007 et 2008 un cycle climatique la La Niña, caractérisé par d'abondantes précipitations.

L'instabilité hydrologique du creek mise en évidence ici sera considérée avec attention dans la suite de ce rapport. En effet, comme nous l'avons énoncé ci-dessus de nombreux paramètres physico-chimiques et composantes biocénotiques sont dépendants de la stabilité hydrologique des cours d'eau.

2.2.2 EVOLUTION DES CONDITIONS PHYSICO-CHIMIQUES DU CREEK DE LA BAIE NORD DURANT LA PHASE DE CONSTRUCTION

Au cours de ce paragraphe nous traiterons successivement les données acquises aux niveaux des différentes stations suivies de manière continue au sein du bassin versant du creek de la Baie Nord, depuis 2003. Pour mémoire des stations sont

- sur le cours principal du creek :
 - Station I dénommée 6-U à partir de fin 2006 ;
 - Station H dénommée 6-T à partir de fin 2006 ;
 - Station F qui sera remplacée fin 2006 par la station 6-Q localisée quelques dizaines de mètres en aval ;
- Sur le principal affluent du creek drainant la zone Sud du site d'implantation de l'usine :
 - Station B, remplacée fin 2006 par la station 6-S.

2.2.2.1 Analyse globale :

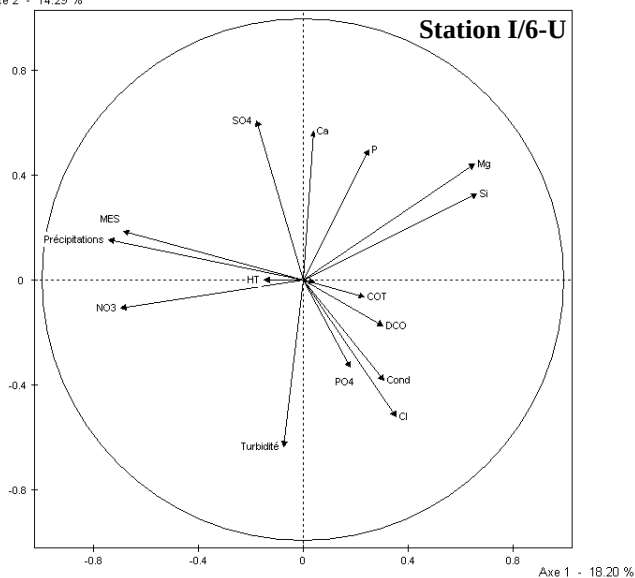
Afin d'analyser la structure des 4 358 données physico-chimiques sélectionnées parmi l'ensemble des données acquises au droit de ces stations, plusieurs analyses en composantes principales (ACP), analyses multivariées permettant le traitement de données quantitatives, suivie d'une classification hiérarchique de Ward, ont été réalisées. Ces analyses menées au droit de chaque station sur les individus (points de mesures effectuées au droit de cette station) et 28 variables sélectionnées (paramètres physico-chimiques), nous ont permis de synthétiser graphiquement l'ensemble de l'information contenue par ces jeux de données sur des plans en deux dimensions. Dans un premier temps, au travers de l'analyse de la répartition des variables au sein du plan retenu et des corrélations existantes entre-elles, ces analyses nous ont permis d'étudier la coévolution des différentes variables et leur influence sur leur répartition mutuelle, nous permettant ainsi de caractériser le fonctionnement du creek pendant cette période. Dans un second temps la répartition des individus (points de mesures), au sein de ces mêmes plans nous a permis de caractériser la répartition relative des différents individus et de modéliser ainsi leur évolution au cours du temps.

Précisons que pour ces analyses, les mesures de débits et hauteurs d'eau n'étant pas disponibles pour l'ensemble des relevés ayant été effectués avant 2006, le cumul des précipitations des jours précédents l'analyse, a été retenu comme métrique indicative des conditions hydrologiques du creek. De même pour ces premières analyses les dates de mesures correspondant aux mois d'avril et mai 2009, période suivant le déversement acide au sein du creek, n'ont pas été retenues afin de ne pas influencer la répartition de l'ensemble des variables.

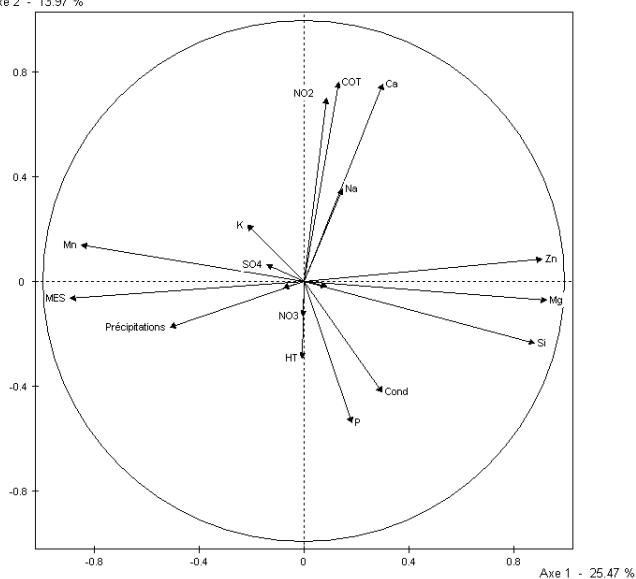
Station I/6-U :

MATRICE DES CORRELATIONS		MES	Préc	Ca	Mg	Mn	P	SO4	Si	DCO	COT	NO3	Cl	Cond	HT	PO4	Turb
MES		1.00															
Préc		0.86	1.00														
Ca		-0.01	0.03	1.00													
Mg		-0.12	-0.26	0.26	1.00												
Mn		0.01	-0.03	-0.12	0.07	1.00											
P		0.00	0.03	0.16	0.27	0.01	1.00										
SO4		0.30	0.25	0.48	0.13	0.06	0.33	1.00									
Si		-0.12	-0.24	0.03	0.91	0.05	0.25	-0.10	1.00								
DCO		-0.01	-0.09	-0.07	0.29	0.02	-0.07	-0.07	0.29	1.00							
COT		-0.08	-0.12	-0.04	-0.03	0.01	0.02	-0.06	0.00	-0.01	1.00						
NO3		0.55	0.49	-0.02	-0.21	0.02	-0.25	0.07	-0.25	0.03	-0.35	1.00					
Cl		-0.11	-0.14	-0.09	0.05	0.02	-0.02	0.03	-0.01	0.27	0.18	-0.17	1.00				
Cond		0.00	0.03	0.05	0.14	0.00	0.11	-0.14	0.13	0.14	0.04	-0.17	0.52	1.00			
HT		0.00	0.03	0.16	-0.01	0.00	-0.17	-0.12	-0.08	0.00	-0.05	0.22	-0.05	0.01	1.00		
PO4		-0.08	-0.07	-0.05	0.09	0.00	-0.11	0.00	0.00	0.15	-0.13	0.14	0.50	0.31	-0.08	1.00	
Turb		0.00	0.01	-0.26	-0.17	0.02	-0.16	-0.28	-0.10	0.11	-0.06	0.28	0.32	0.33	-0.11	-0.10	1.00

Axe 2 - 14.29 %



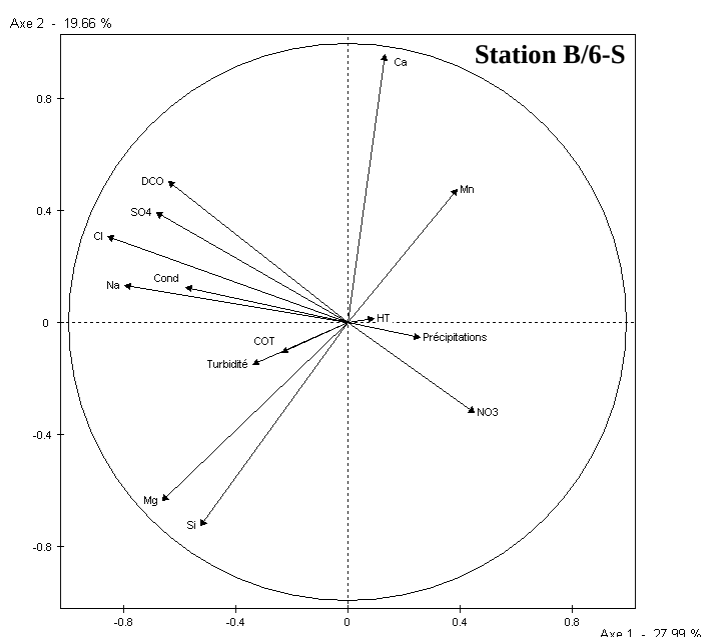
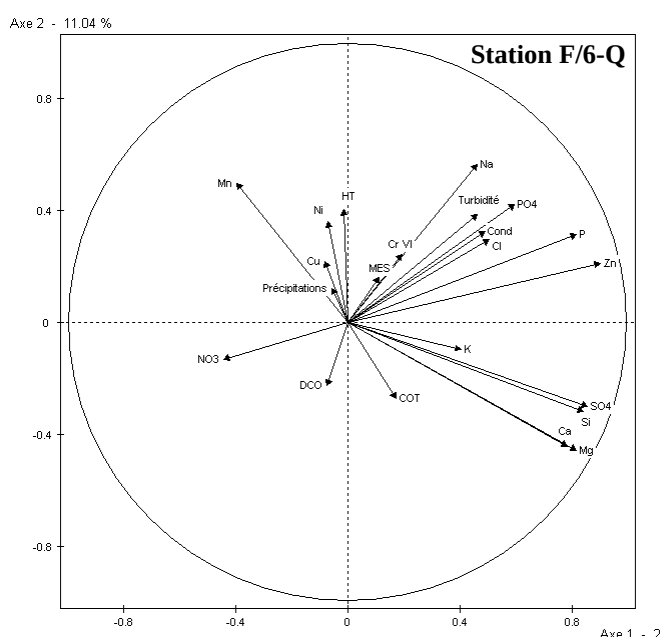
Axe 2 - 13.97 %

**Station H/6-T**

MATRICE DES CORRELATIONS		MES	Préc	Ca	K	Mg	Mn	Na	P	SO4	Si	Zn	COT	NO2	NO3	Cl	Cond	HT
MES		1.00																
Préc		0.44	1.00															
Ca		-0.35	-0.24	1.00														
K		0.00	0.01	0.05	1.00													
Mg		-0.74	-0.33	0.19	-0.35	1.00												
Mn		0.82	0.35	-0.27	0.05	-0.71	1.00											
Na		0.00	0.06	0.31	0.07	0.18	-0.11	1.00										
P		-0.01	0.03	-0.57	-0.08	0.31	-0.05	-0.03	1.00									
SO4		0.03	0.12	0.17	-0.06	-0.07	0.09	0.30	-0.04	1.00								
Si		-0.68	-0.31	-0.04	-0.39	0.94	-0.65	0.10	0.46	-0.16	1.00							
Zn		-0.99	-0.47	0.36	0.03	0.75	-0.83	0.00	0.00	-0.12	0.69	1.00						
COT		0.00	-0.15	0.37	0.04	0.16	0.08	0.35	-0.15	-0.26	0.09	0.06	1.00					
NO2		0.00	-0.07	0.41	-0.19	0.18	0.26	0.19	-0.03	0.01	0.09	0.00	0.73	1.00				
NO3		0.04	0.13	0.02	0.01	0.02	-0.07	-0.01	-0.07	-0.04	0.00	0.04	-0.07	-0.19	1.00			
Cl		0.00	-0.16	-0.13	0.14	0.07	0.01	0.16	0.11	-0.23	0.07	0.01	0.13	0.12	0.09	1.00		
Cond		0.00	-0.04	-0.13	-0.38	0.36	-0.21	0.34	0.31	-0.13	0.42	-0.01	-0.18	-0.15	0.04	0.29	1.00	
HT		0.00	0.04	-0.10	-0.15	0.03	-0.19	-0.22	-0.15	0.11	-0.08	0.00	-0.24	-0.19	0.04	-0.03	0.02	1.00
Turb		0.00	0.09	-0.01	0.02	-0.06	-0.05	0.07	0.04	0.52	-0.06	-0.06	-0.12	-0.03	0.05	0.22	-0.18	0.07

Station F/6-Q

MATRICE DES CORRELATIONS	MES	Préc	Ca	Cu	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	S04	Si	Zn	Cr V	DCO	COT	N03
MES	1.00																
Préc	0.19	1.00															
Ca	0.14	-0.01	1.00														
Cu	0.01	0.13	-0.07	1.00													
K	-0.32	-0.19	0.26	-0.03	1.00												
Mg	0.05	-0.06	0.88	-0.07	0.26	1.00											
Mn	0.07	0.11	-0.44	0.46	-0.17	-0.45	1.00										
Na	0.15	0.06	0.16	0.00	-0.19	0.19	-0.02	1.00									
Ni	-0.02	-0.03	-0.13	0.00	0.00	-0.18	0.34	0.10	1.00								
P	0.01	0.04	0.43	0.00	0.30	0.46	-0.18	0.53	0.07	1.00							
S04	0.07	0.04	0.85	0.00	0.24	0.84	-0.44	0.22	-0.13	0.61	1.00						
Si	0.08	-0.05	0.82	-0.04	0.29	0.97	-0.30	0.25	-0.12	0.53	0.80	1.00					
Zn	0.06	0.04	0.55	-0.04	0.36	0.60	-0.24	0.46	0.00	0.89	0.77	0.66	1.00				
Cr V	0.01	-0.01	0.04	0.00	0.15	0.00	0.00	0.01	0.00	0.25	0.13	0.01	0.20	1.00			
DCO	0.03	0.05	0.04	0.00	-0.24	0.08	-0.02	-0.02	0.05	-0.06	0.01	0.07	-0.12	-0.42	1.00		
COT	0.08	-0.16	0.23	-0.02	0.00	0.25	-0.10	0.07	0.06	0.10	0.16	0.23	-0.03	0.00	-0.05	1.00	
N03	-0.21	0.17	-0.21	0.01	0.04	-0.27	0.04	-0.31	-0.15	-0.43	-0.31	-0.31	-0.41	-0.23	0.04	-0.46	1.00
Cl	0.00	-0.28	0.15	-0.01	0.20	0.28	-0.07	0.35	0.03	0.48	0.18	0.34	0.42	0.10	0.11	0.18	-0.38
Cond	0.06	-0.05	0.28	-0.01	0.26	0.19	-0.08	0.31	-0.04	0.37	0.35	0.23	0.49	0.06	0.07	-0.45	-0.10
HT	0.00	0.05	-0.18	0.00	-0.40	-0.02	0.00	0.57	0.00	0.00	-0.09	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.06	0.04
P04	0.01	0.06	0.24	-0.01	0.47	0.22	-0.09	0.40	0.00	0.64	0.37	0.29	0.65	0.34	-0.46	-0.12	-0.15
Turb	0.39	0.03	0.26	0.00	0.24	0.19	-0.03	0.36	0.16	0.39	0.19	0.28	0.44	-0.08	0.00	0.03	-0.04

**Station B/6-S**

MATRICE DES CORRELATIONS	Préc	Ca	Mg	Mn	Na	S04	Si	DCO	COT	N03	Cl	Cond	HT	Turb
Préc	1.00													
Ca	0.08	1.00												
Mg	-0.12	-0.70	1.00											
Mn	-0.16	0.45	-0.44	1.00										
Na	-0.25	0.03	0.37	-0.33	1.00									
S04	-0.07	0.27	0.35	0.02	0.56	1.00								
Si	-0.11	-0.76	0.92	-0.36	0.22	0.14	1.00							
DCO	-0.09	0.43	0.25	-0.04	0.56	0.75	0.12	1.00						
COT	0.05	-0.09	-0.02	-0.06	0.08	-0.19	0.06	-0.28	1.00					
N03	0.12	-0.16	-0.14	0.10	-0.09	-0.39	-0.04	-0.39	-0.14	1.00				
Cl	-0.24	0.20	0.30	-0.18	0.71	0.57	0.21	0.63	0.30	-0.39	1.00			
Cond	-0.20	0.00	0.07	-0.19	0.43	0.11	0.08	0.08	0.73	-0.49	0.65	1.00		
HT	0.05	0.04	-0.10	0.02	-0.23	-0.01	0.07	-0.03	-0.24	0.04	0.07	-0.04	1.00	
Turb	0.04	-0.10	0.22	-0.11	0.28	0.28	0.15	-0.01	0.37	0.28	0.31	0.16	0.11	1.00

Fig. 7a : Projection sur le plan défini par les deux premiers axes des 15 variables actives de l'ACP menée sur les 28 variables physico-chimiques relatives à l'ensemble des points de mesures effectués entre janvier 2003 et décembre 2009 au niveau des différentes stations du réseau de suivi du creek de la Baie Nord par VALE-INCO NC.

Le résultat graphique de ces ACP, reportés ci-dessous au niveau de la Fig. 7a, nous permettent, au regard de la coévolution des variables entre elles et de l'analyse de la matrice des corrélations, de confirmer les grandes tendances évolutives saisonnières des paramètres physico-chimiques observées lors de l'analyse des données acquises en 2000. Nous pouvons en effet observer une évolution inverse des concentrations en nutriments (minéraux et organiques), ainsi que de la conductivité et de l'intensité des précipitations. Ces variables évoluent de manière opposée au regard de l'axe 1 des différentes analyses. Nous constatons donc de nouveau des concentrations en Si et Mg, ainsi que des concentrations en Carbone organique Total (COT) et phosphates plus importantes pour les points de mesures présentant de faibles cumuls de précipitations les 3 jours précédents la mesure. A l'opposé on observe pour les stations I/6-U et H/6-T localisées sur le cours inférieur du creek de la Baie Nord une co-variation des précipitations et des concentrations en MES (corrélation soutenue par un coefficient de 0,86 et 0,45 respectivement au droit de I/6-U et H/6-T). Cette corrélation apparaît moins évidente au droit de la station localisée sur le cours moyen du creek (F/6-Q), où les concentrations en MES apparaissent également influencées par les variables turbidité et concentrations en sels ([Na] et [Cl] et nutriments phosphatés ([PO₄] et [P]), ainsi que par les concentrations en COT.

Rappelons que l'augmentation en nutriments et l'augmentation des concentrations en COT en saison sèche, couplée à l'augmentation de la turbidité nous laisse supposer une augmentation de la densité algale pour ces périodes. Cette augmentation du taux d'algues pélagiques peut ainsi influencer les concentrations en MES mesurées (La mesure des concentrations en MES s'effectuant par filtration à une maille de 0,45 µm, ces algues se retrouvent parmi les résidus secs pesés). A l'avenir il serait intéressant de disposer d'un suivi de la concentration en Chlorophylle a, métrique simple d'analyse, qui permettrait de confirmer ce point.

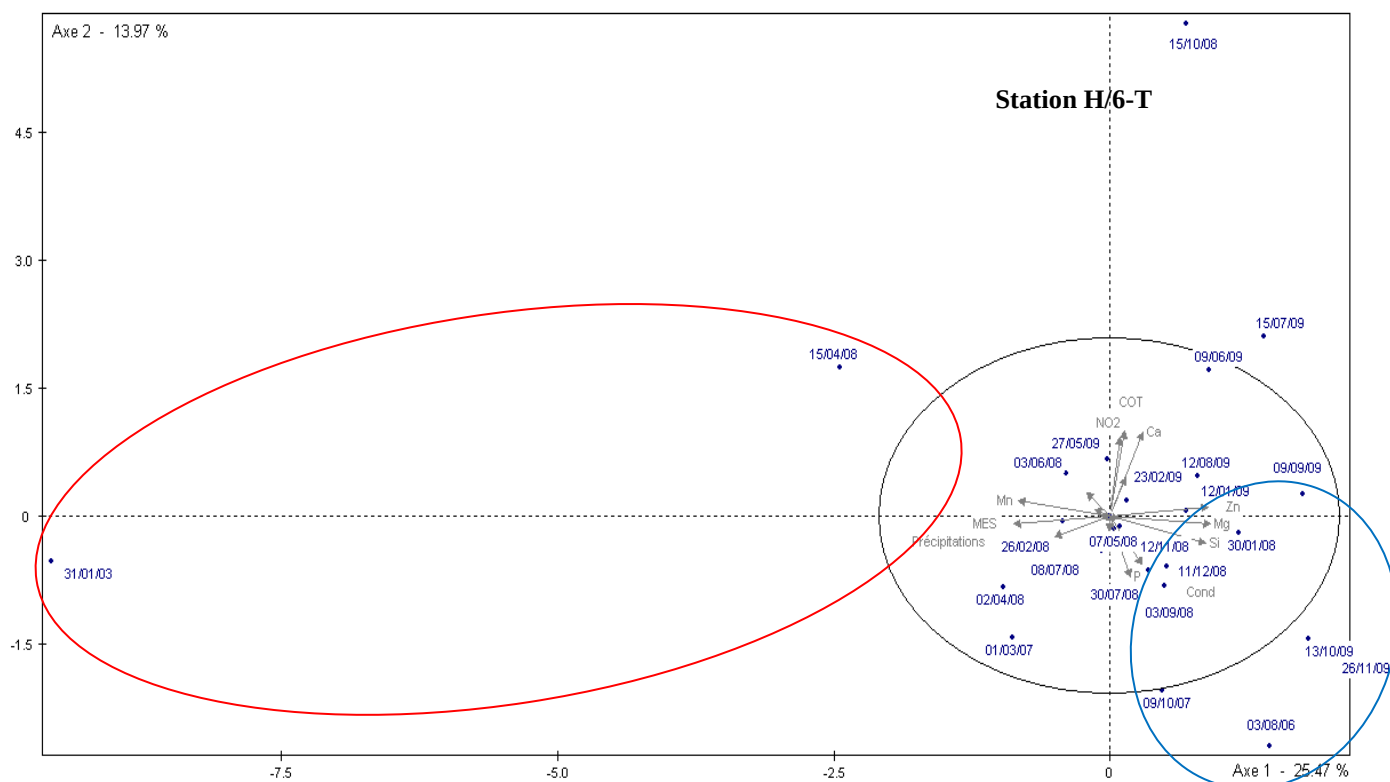
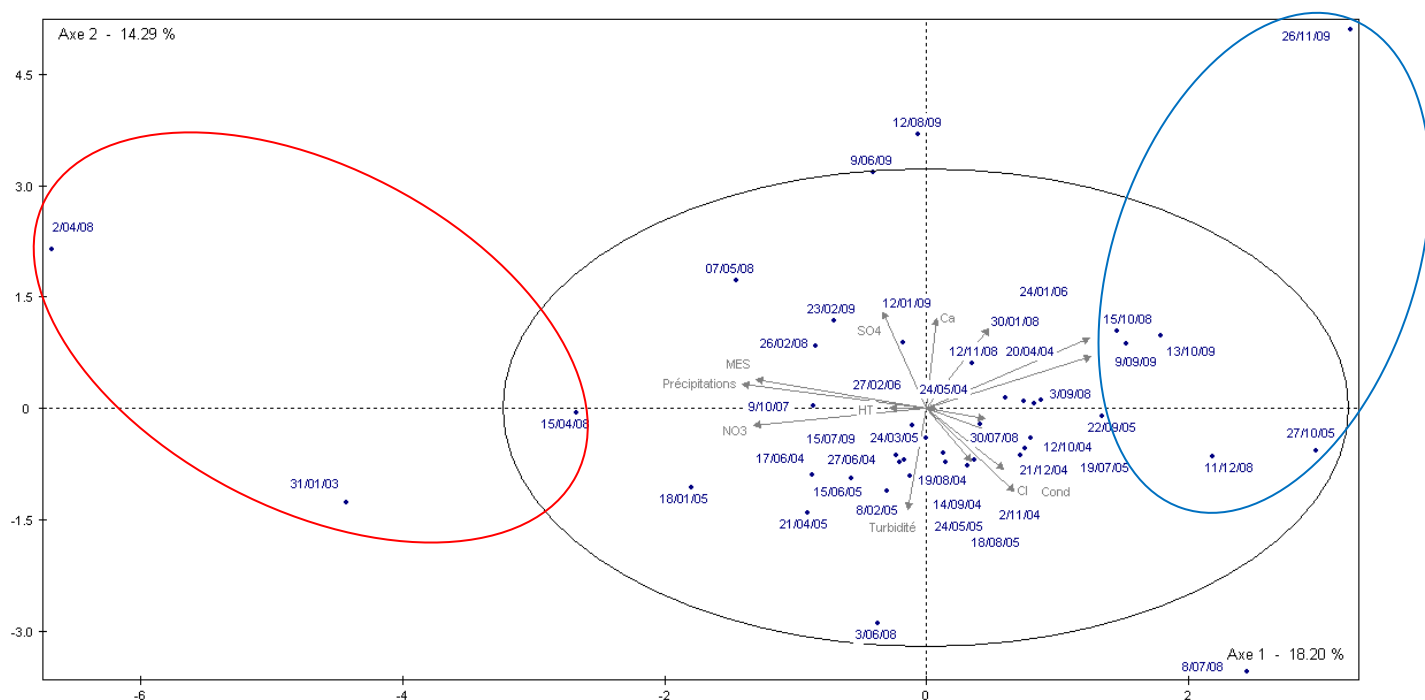
D'autre part, nous pouvons également observer une covariation selon l'axe 1 de ces analyses des concentrations en métaux ([Mn], [Ni], [Cu] et [Al + Fe]) et de l'intensité des précipitations, en accord avec une remobilisation de ces éléments par les eaux pluviales de ruissellement.

Si nous nous intéressons maintenant à la répartition des différents individus (points de mesures) sur les plans définis par les deux premiers axes de chaque analyse nous pouvons constater que 30 à 45% de la variabilité totale inhérente à chaque jeu de données, est expliquée. Ces analyses retranscrivent donc avec une assez bonne fidélité la structure de ceux-ci.

Cette première analyse nous permet de discriminer graphiquement au sein de chaque analyse les ensembles d'individus qui s'opposent. Ces ensembles sont composés :

- des points de mesures réalisés suite à d'importants épisodes pluvieux (en rouge sur la Fig. 7b), caractérisés par les concentrations en MES les plus importantes. Ces points correspondent aux dates du 29, 31 janvier et 10 février 2003, du 9 juin 2004, du 2 et 15 avril 2008. L'ensemble de ces dates ont été précédées de forts événements pluvieux (cumul des précipitations dans les jours précédents supérieurs à 40 mm).
- Des points de mesures réalisés en périodes sèches (en bleu sur la Fig. 7b), caractérisées par de faibles cumuls de précipitations et de fortes concentrations en

nutriments. Ces points correspondent aux dates de mesures des mois les plus secs des années 2005, 2006, 2008 et 2009.



2.2.2.2 Analyse de l'évolution des concentrations en MES :

Au regard de la répartition des individus au sein de ces différents groupes nous pouvons constater que les points de mesures réalisés suite aux forts épisodes pluvieux survenus fin janvier 2003 et début avril 2008, se répartissent au sein d'un même ensemble caractérisé par de fortes concentrations en MES et Mn. L'analyse détaillée des concentrations en MES mesurées entre janvier 2003 et août 2009 au droit de la station I/6-U nous montrent que les concentrations en MES restent faibles (< 5 mg/L), durant toute cette période tant que le cumul des précipitations des jours précédents la mesure ne dépassent pas 50 mm (Fig. 8). Suite à des événements pluvieux supérieurs à 50 mm sur trois jours, on observe une augmentation de ces dernières, qui peuvent atteindre des valeurs importantes (> 200 mg/L), pour des épisodes pluvieux représentant un cumul de pluie sur 3 jours supérieur à 100 mm.

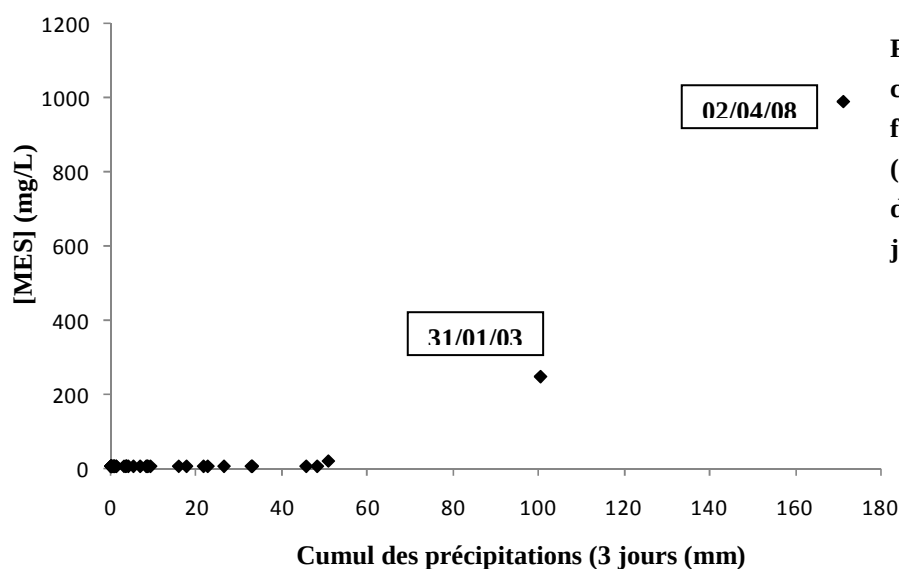


Fig. 8 : Evolution des concentrations en MES en fonction des précipitations (cumul sur trois jours) au droit de la station I/6U entre janvier 2003 et août 2009

Au vu des mesures réalisées, il apparaît donc que les concentrations en MES du creek présentent des fluctuations similaires en 2003 et 2008 suite à des événements pluvieux importants. Rappelons qu'en 2003 le chantier de construction du site de l'usine était peu développé et l'ensemble des opérations était en stand-by. Toutefois, une grande partie des opérations de décapages avaient été réalisées en 2002 avant la mise en stand by du chantier. Nous pouvons donc supposer que les zones découvertes étaient déjà susceptibles de représenter une source de MES pour les creeks drainant le bassin versant de la Baie-Nord. En 2008, au contraire les travaux de construction étaient bien avancés. Il semblerait donc au vu de ces valeurs que l'essor du chantier n'ait pas amplifié de manière significative entre ces deux dates les fluctuations des concentrations en MES observées dans le creek suite à des épisodes pluvieux importants.

D'autre part si nous nous intéressons maintenant aux deux stations localisées plus en amont sur le creek, nous constatons que la coévolution observée ci-dessus pour les deux métriques considérées apparaît moins nette. En effet seule la mesure effectuée en janvier 2003 à la suite d'un épisode pluvieux supérieur à 50 mm révèle une forte augmentation des concentrations en MES au

droit de la station H/6-T (Fig. 9). Suite aux fortes pluies survenues fin mars, début avril 2008, aucune évolution notable des concentrations en MES n'apparaît au vu des mesures réalisées (Fig. 9).

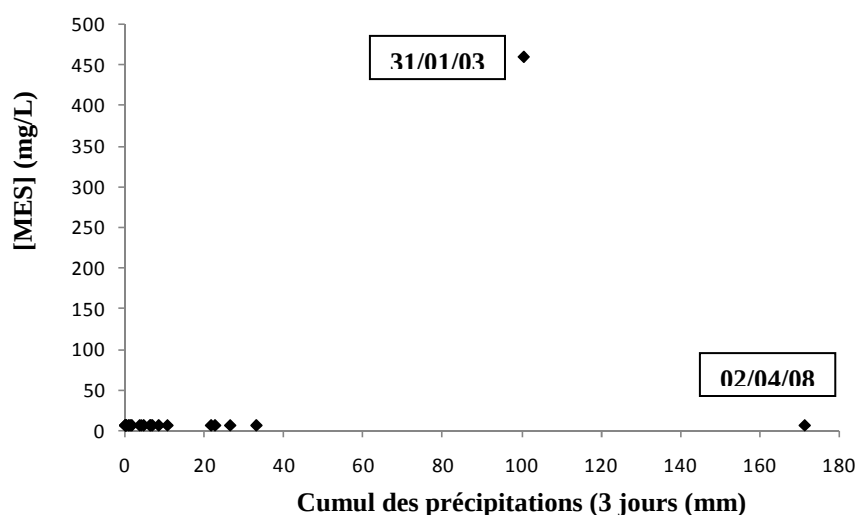


Fig. 9 : Evolution des concentrations en MES en fonction des précipitations (cumul sur trois jours) au droit de la station H/6-T entre janvier 2003 et août 2009

De même si nous revenons sur les données acquises lors de la campagne de caractérisation hydrologique du creek menée en 2008 pour Vale Inco Nouvelle-Calédonie, nous pouvons également constater qu'aucune augmentation des concentrations en MES n'a été identifiée au début du mois d'avril, suite aux forts épisodes pluvieux et ce malgré une importante augmentation de débit du creek.

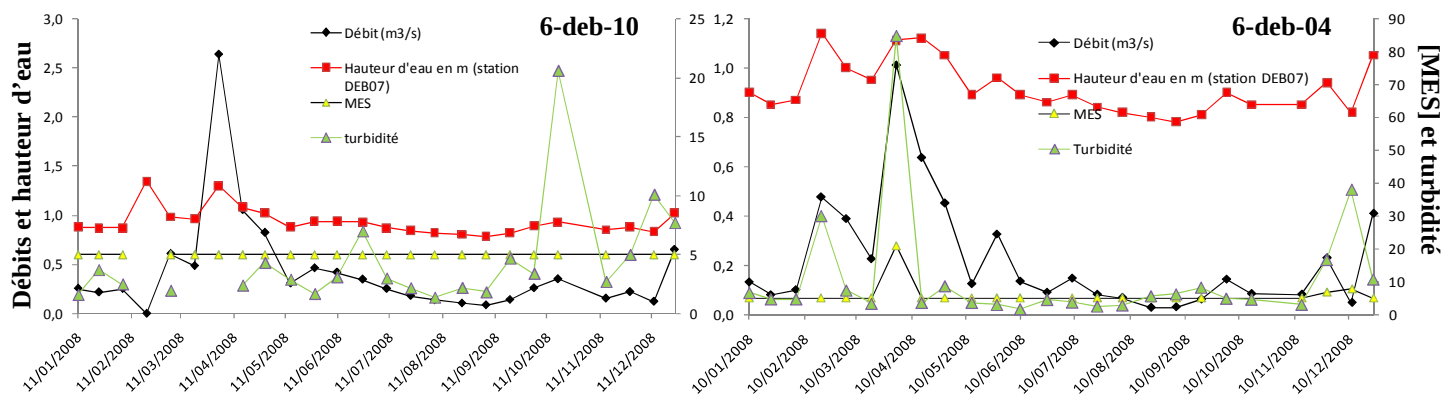


Fig. 10 : Evolution des débits (m3/s), hauteurs d'eau (m), concentrations en MES (mg/l) et de la turbidité (NTU) au cours de l'année 2008 au droit des stations 6-deb-10 (aval immédiat de la station H/6-T) et 6-deb-04 (station F/6-Q)

Par contre au droit de la station 6-deb-04 localisée plus en amont, suite au même épisode pluvieux nous pouvons constater une augmentation des MES, augmentation qui demeure toutefois modérée au regard des concentrations mesurées au droit de la station I/6-U (21 mg/l vs 900 mg/l respectivement).

En bref au regard de l'ensemble de ces éléments il apparaît que l'importante augmentation des concentrations en MES observée au droit de la station I/6-U en avril 2008 ne peut s'expliquer en

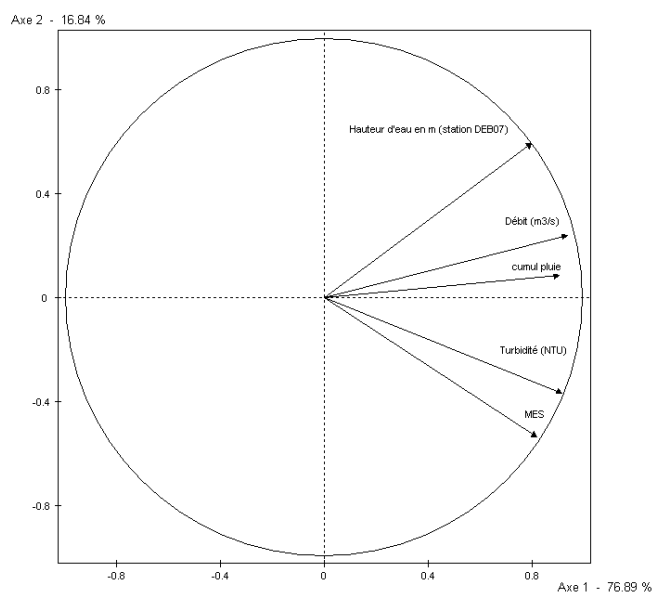
totalité par des apports en MES en provenance du site de l'usine. En effet, même si une augmentation des concentrations en MES a été détectée en amont sur le creek au niveau de la station F/6-Q, cette dernière n'est plus visible au droit de la station H/6-T localisée entre F/6-Q et I/6-U. L'existence d'apports secondaires en MES en amont immédiat de la station I/6-U (érosion des berges, affluents,...), pourrait expliquer l'importante augmentation observée.

D'autre part si nous revenons sur l'ensemble des variables connexes aux concentrations en MES mesurées au droit des stations 6-deb-10 et 6-deb-04 nous pouvons constater que au regard des résultats obtenus à l'aide d'Analyses en Composantes Principales l'existence d'une covariation entre les variables [MES], turbidité, débits, hauteur d'eau et cumul des précipitations selon le premier axe de l'analyse, axe expliquant plus de 60% de la structure du jeu de données (Fig. 11a). Selon le deuxième axe définissant le plan de projection et expliquant près de 20 % de la structure du jeu de données, nous ne constatons une covariation qu'entre les variables cumul des précipitations et hauteur d'eau d'une part et turbidité et [MES] d'autre part.

L'analyse de la répartition des individus (dates de mesures) au sein du plan défini par ces deux axes nous permet de constater pour l'année 2008, que les périodes présentant les plus fortes concentrations en MES correspondent aux périodes d'augmentation de débits et hauteur d'eau succédant à des épisodes pluvieux conséquents (> 48 mm sur 3 jours). Notons toutefois l'exception observé mi décembre 2008 (11 décembre), où de fortes concentrations en MES ont été relevées alors qu'aucun épisode pluvieux n'avait eu lieu les jours précédents (cumul des précipitations = 1,4 mm sur 11 jours entre le 01/12/08 et le 11/12/08).

D'autre part cette analyse nous révèle également que les valeurs de turbidité les plus élevées sont à la fois observées en période de faibles débits et hauteurs d'eau (fin août/septembre : débits < 0,07 m³/s et hauteur d'eau < 0,85 m ; cercle bleu Fig. 11b) et périodes de débits et hauteur d'eau importants (fin mars/début avril et fin décembre : débits > 0,4 m³/s et hauteur d'eau > 0,95 m ; cercle rouge Fig. 11b). Ceci peut s'expliquer par l'hypothèse avancée précédemment dans ce rapport, la turbidité des eaux du creek de la Baie Nord est annuellement régie par deux facteurs importants qui sont :

- La concentration en MES apportées par les eaux de ruissellement suite à de fortes précipitations ;
- La concentration en phytoplancton pélagique et particules associées (nous pensons ici principalement aux particules transparentes d'exo-polysaccharides sécrétés par ces algues pour entre autre se protéger) en période d'étiage.



MATRICE DES CORRELATIONS					
	Débi	Haut	Turb	MES	cumu
Débi	1.00				
Haut	0.90	1.00			
Turb	0.76	0.51	1.00		
MES	0.68	0.35	0.93	1.00	
cumu	0.77	0.74	0.81	0.63	1.00

Fig.11a : Projection sur le plan défini par les deux premiers axes des 5 variables actives de l'ACP menée sur les 5 variables physico-chimiques relatives au régime hydraulique et charges particulières transportées par le creek de la Baie Nord entre janvier 2008 et décembre 2008 au droit de la station 6 Deb 04 (F/6Q) du réseau de suivi du creek de la Baie Nord par VALE-INCO NC.

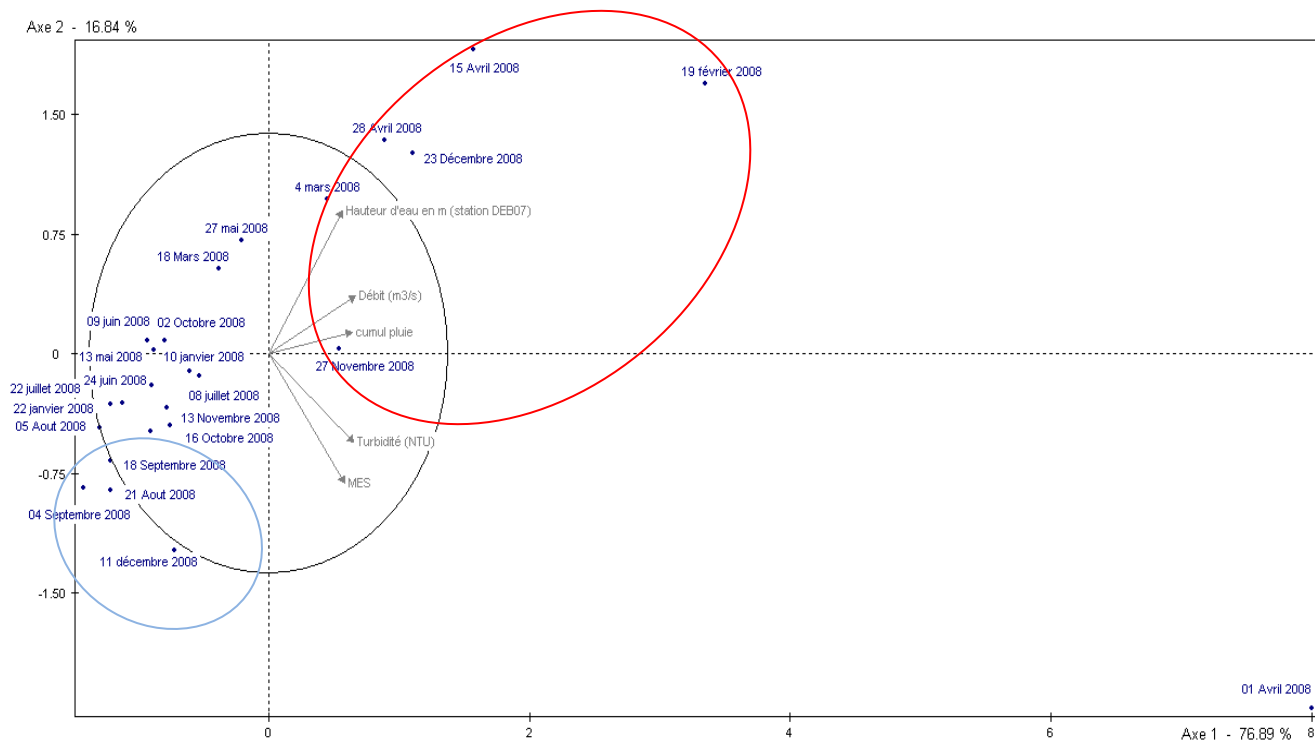


Fig.11b : Projection sur le plan défini par les deux premiers axes de l'analyse des résultats de l'ACP menée sur les 5 variables descriptives du régime hydraulique et de la charge particulaire relatives aux différents points de mesures effectués au niveau de la station 6Deb 04 (F/6Q) du réseau de suivi de la qualité physico-chimique du creek de la Baie Nord de VALE-INCO NC, entre janvier et décembre 2008.

Pour conclure sur l'évolution des concentrations en MES au sein du creek de la Baie Nord et l'impact du projet Vale Inco Nouvelle-Calédonie sur ces dernières, nous pouvons difficilement conclure avec certitude. En effet, rappelons que les mesures réalisées lors de l'année 2000 au droit de la station I/6-U, ne montraient aucune valeur supérieure à 10 mg/L, mais en l'absence de

données sur les précipitations et débits associés à ces mesures il est difficile de conclure sur l'évolution naturelle de ces concentrations suite à de fortes pluies au sein du creek en phase pré-construction et d'exclure toutes augmentations « naturelles » ou du moins non liées au projet similaire à celles décrites ci-dessus pour les années 2003 et 2008. Notons d'autre part qu'en 2008, les augmentations observées restent inférieures à 35 mg/L.

Il serait important à l'avenir qu'une caractérisation des fluctuations des concentrations en MES lors des épisodes pluvieux soit établie au droit des creeks localisés au sein des zones d'influences des travaux miniers avant toute intervention afin, a posteriori, de disposer d'une modélisation des fluctuations naturelles en MES en fonction du régime hydrologique du creek. Une telle modélisation permettra de s'assurer de la réelle influence du projet sur les concentrations en MES.

Concernant les métaux traces généralement associés aux MES issues des sols latéritiques, l'analyse des concentrations mesurées au sein des échantillons prélevés entre 2003 et 2008 n'a révélé aucune évolution notable de ces dernières. Pour la quasi-totalité des métaux les concentrations mesurées sont restées inférieures aux seuils de détection analytique des appareils utilisés (Al, As, Cr, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb). Seules les concentrations en Mn, ont montré une évolution qui, comme nous pouvons le constater à la lecture de la projection des résultats des ACP menées au droit de chaque station, apparaît principalement liée à l'évolution de la charge sédimentaire transitant par le creek. Les concentrations mesurées durant toute la phase de suivi de la construction sont restées inférieures à 0,1 mg/L, seuil de détection de l'appareil utilisé en 2000 pour la caractérisation des concentrations « naturelles » du creek en Mn. Seules de fortes concentrations ont été mesurées au mois de mai 2009 sur l'ensemble du creek de la Baie Nord. Ces concentrations observées plus d'un mois après le déversement d'acide au sein du creek apparaissent difficiles à relier directement à cet incident.

2.2.2.3 Analyse de l'évolution des concentrations en nutriments :

Nous avons vu précédemment tant au niveau de l'analyse des données collectées lors de l'année 2000 (phase de pré-construction usine), que de l'analyse des données collectées durant le suivi effectué de 2003 à nos jours (phase de construction), qu'une concentration en nutriments et oligoéléments minéraux était observée durant la période d'étiage. Nous allons donc maintenant revenir sur l'évolution des ces concentrations depuis 2000 afin de caractériser l'influence du Projet VALE INCO NOUVELLE-CALEDONIE sur ces dernières.

En première approche, afin de caractériser l'évolution des concentrations en nutriments et oligoéléments minéraux, des Analyses en Composantes Principales ont été menées à partir des mesures réalisées entre 2000 et 2009 au droit de chaque station (Fig. 12). Précisons que pour les 3 stations localisées sur le cours principal du creek de la Baie Nord, les dates de mesures des mois d'avril et mai 2009 faisant suite au déversement acide, n'ont dans un premier temps, pas été prises en considération afin de ne pas influencer la structure globale du jeu de données. D'autre part, dans

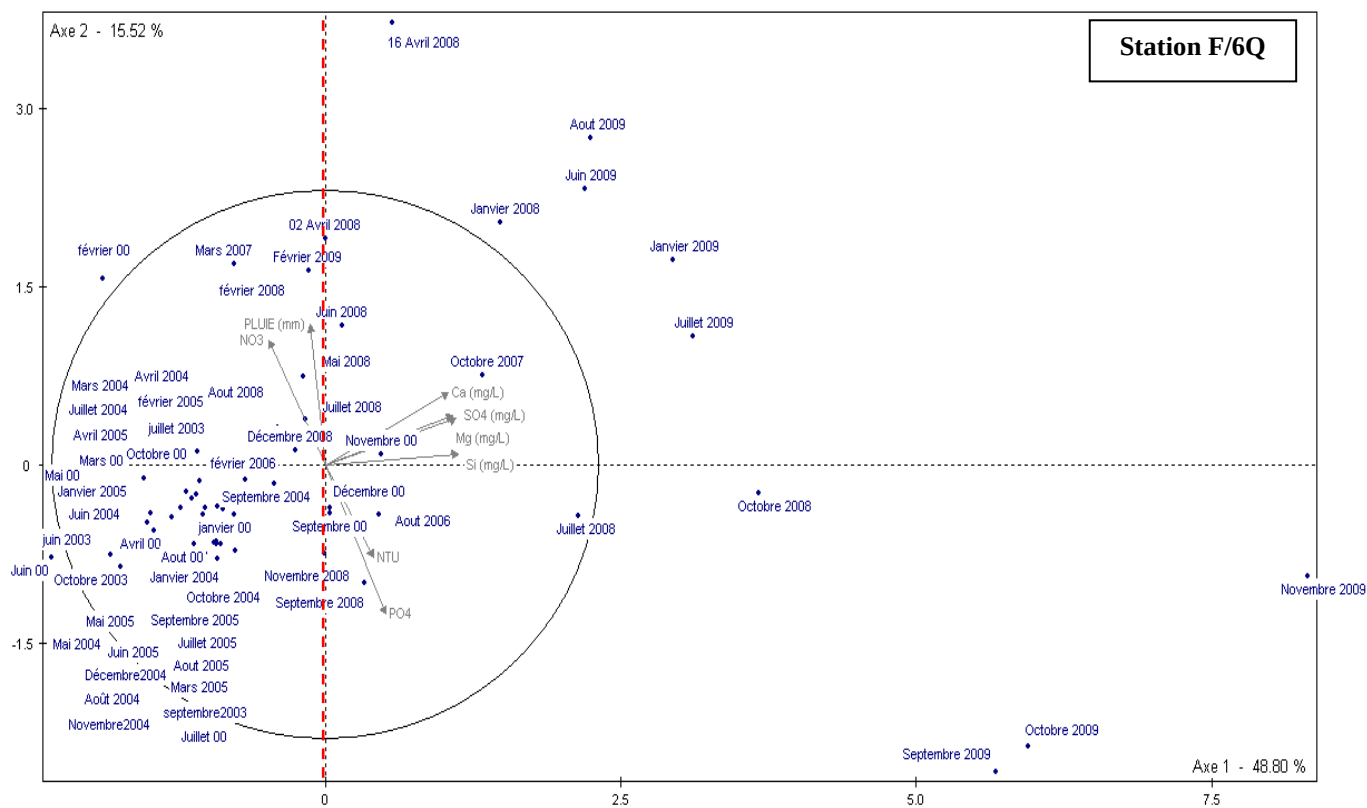
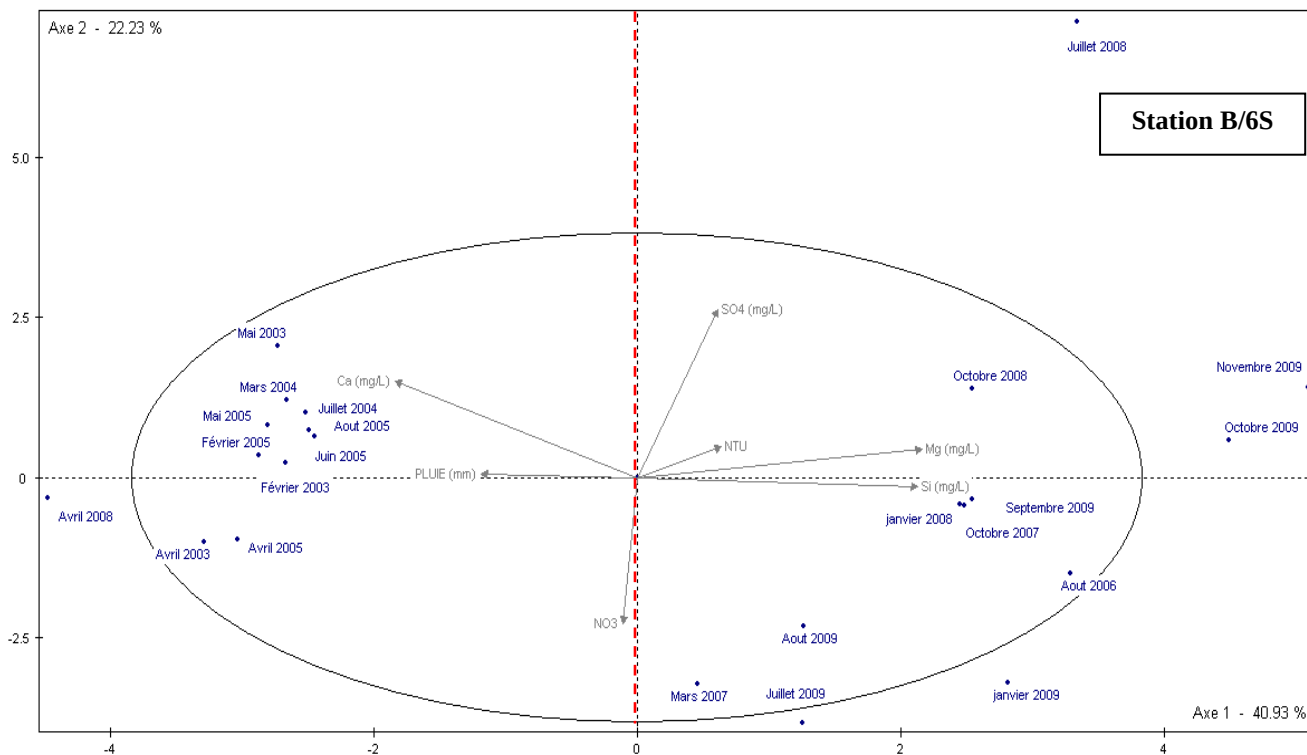
le cadre de ces analyses, le cumul mensuel des précipitations précédant la date de mesure a été considéré.

Pour l'ensemble des analyses menées, la projection des différents individus (points de mesures) sur les plans définis par les deux premiers axes de chaque analyse explique près de 50% de la variabilité totale inhérente à chaque jeu de données. Ces analyses retranscrivent donc avec une assez bonne fidélité la structure de ces derniers (Fig. 12).

L'analyse graphique des projections des résultats des différentes ACP dans le plan défini par les deux principaux axes des différentes analyses, nous permet de constater pour la quasi-totalité des stations une opposition selon l'axe 1 des variables « cumuls des précipitations » et [Mg] et [Si], suggérant une covariation inverse de ces variables en accord avec ce que nous avons précédemment vu suite à l'analyse des données collectées en 2000. Seuls les résultats de la station F/6-Q ne laissent pas apparaître graphiquement une telle répartition. Aucune corrélation soutenue n'apparaît d'ailleurs entre ces variables (corrélation Pluie/[Mg] = -0,08 et Pluie/[Si] = -0,13). Au regard de ce premier résultat il apparaît donc que l'évolution des concentrations en [Mg] et [Si] au droit des stations B/6-S, H/6-T et I/6-U est, entre 2000 et 2009, régie par les conditions météo. Notons toutefois que la projection des résultats de l'ACP menée au droit de la station B/6-S discrimine graphiquement deux groupes : un premier étant composé des points de mesures effectués avant Août 2006 et du point de mesure ayant été effectué en avril 2008, caractérisé par de faibles concentrations en Mg et Si, un second étant composé des points de mesure ayant été effectués après cette date et caractérisé par de fortes concentrations en Mg et Si. Cette répartition indépendante du régime des précipitations explique les coefficients de corrélation plus faibles obtenus entre les variables « cumuls des pluies » et [Mg] (-0,33) et « cumuls des pluies » et [Si] (-0,32) au droit de cette station. Les coefficients de corrélation liant ces mêmes couples de variables étant supérieurs à 0,5 au droit des stations H/6-T et I/6-U.

Ces deux mêmes groupes se discriminent également sur le plan de projection des résultats de l'ACP menée sur les données de la station F/6-Q. Pour ces deux stations, une évolution des concentrations dans le temps indépendante du régime des précipitations semble donc se dessiner.

Afin d'analyser plus finement cette évolution, nous allons maintenant revenir sur l'évolution de chacune de ces variables dans le temps.



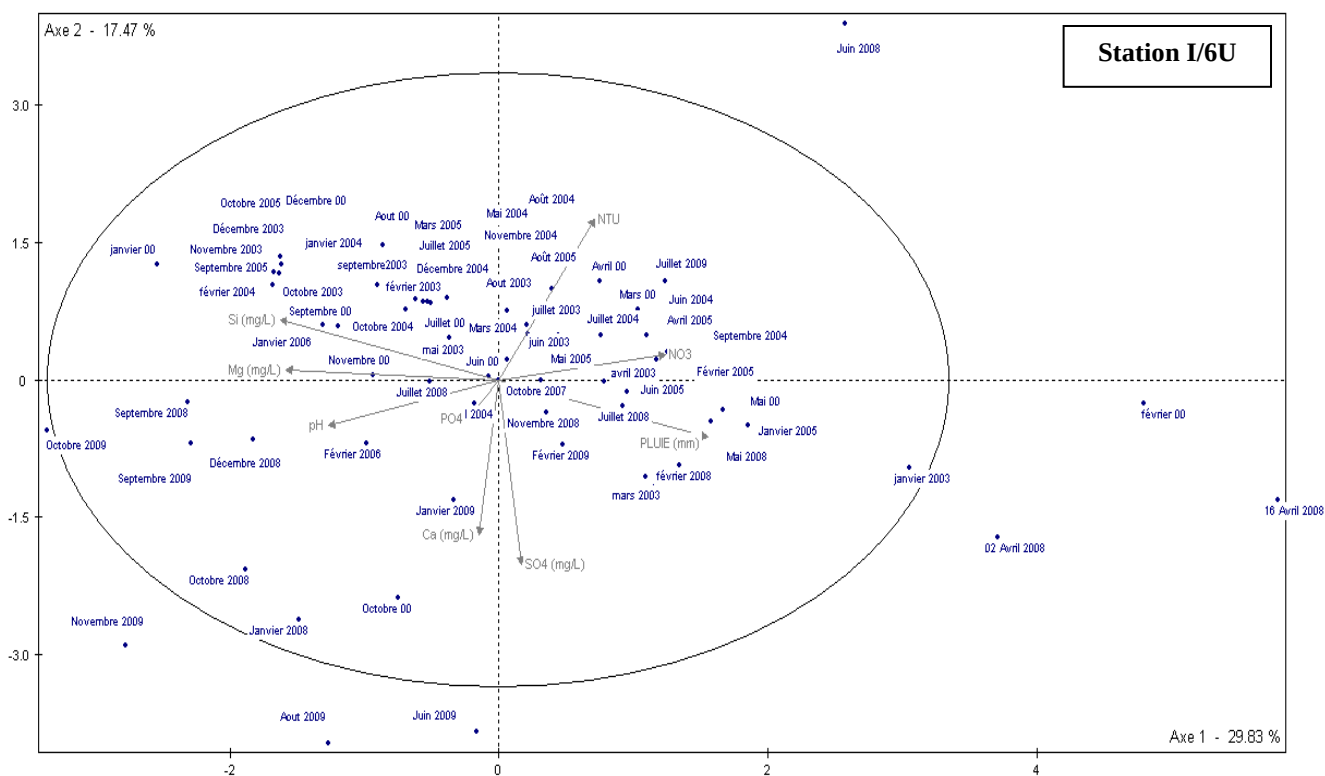
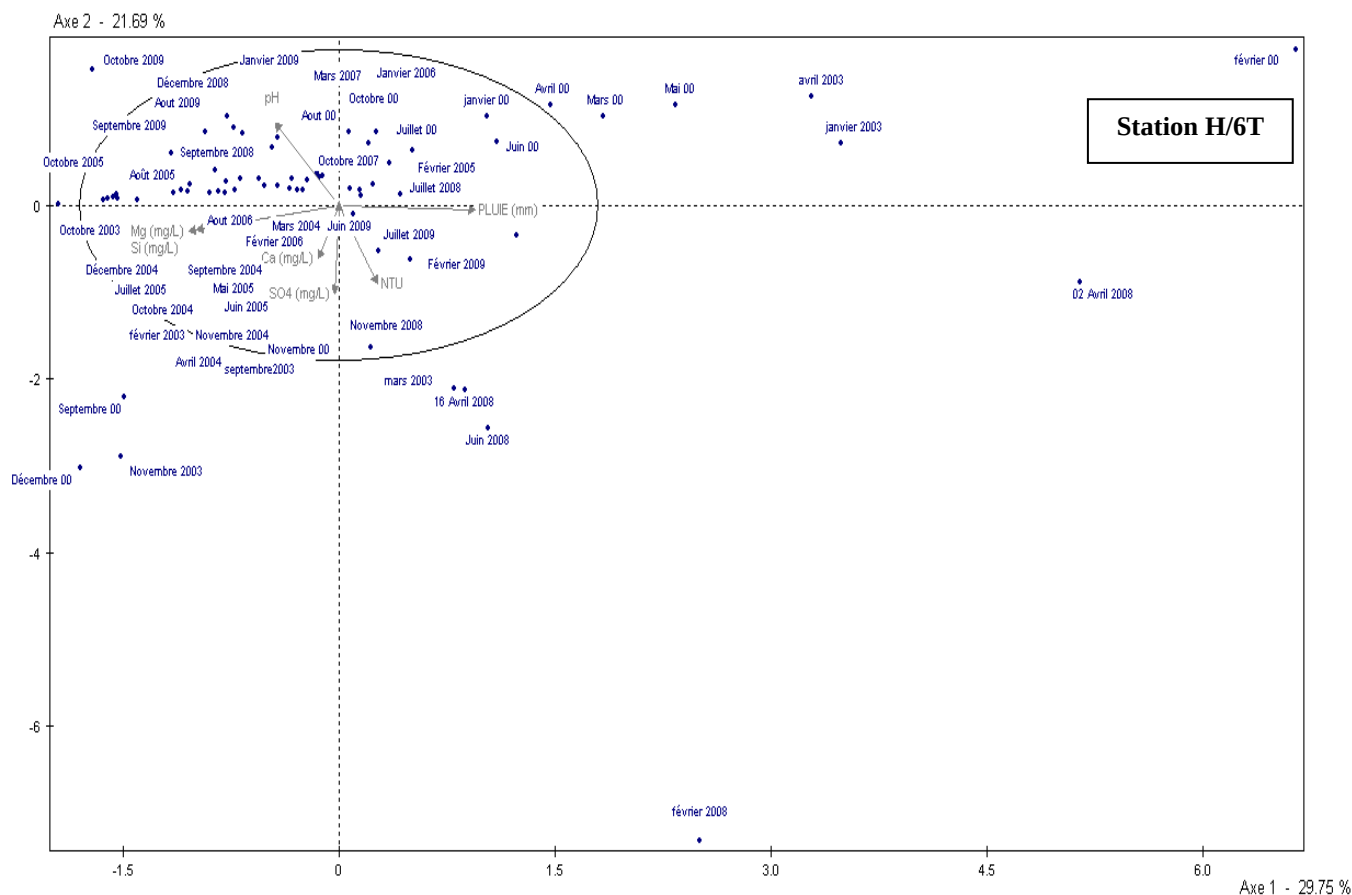


Fig.12 : Projection sur le plan défini par les deux premiers axes de l'analyse des résultats de l'ACP menée sur les différentes variables descriptives des concentrations en nutriments et oligoéléments minéraux relatives aux différents points de mesures effectués au niveau des stations B/6S, F/6Q, H/6T et I/6U du réseau de suivi de la qualité physico-chimique du creek de la Baie Nord de VALE-INCO NC, entre 2000 et 2009.

a -CONCENTRATION EN MG ET SI :

L'analyse de l'évolution temporelle des concentrations en Mg et Si mesurées au droit de ces différentes stations confirme les tendances générales mise en évidence au travers des analyses globales menées ci-dessus. Nous pouvons en effet constater à la lecture des graphes présentés en figure 13, qu'aucune évolution temporelle notable hors fluctuations saisonnières, n'est observée pour les concentrations en ces deux éléments au droit des stations H/6-T et I/6-U. Les concentrations en Mg minimales observées sont de 2,9 mg/L et 3,98 mg/L respectivement au droit des stations H/6-T et I/6-U, suite à de forts épisodes pluvieux, les concentrations maximales mesurées au droit de ces deux stations étant respectivement de 13,2 et 13,4 mg/L suite à de longue période sèche. Aucune différence significative n'est de même observée entre la moyenne annuelle de l'année 2000 et celle de l'année 2009 au droit de H/6-T ($[Mg] = 8,6 \pm 2,5$ mg/L vs $[Mg] = 10,9 \pm 1,5$ mg/L) et de I/6U ($[Mg] = 9,53 \pm 2,53$ mg/L vs $[Mg] = 9,38 \pm 2,8$ mg/L).

En ce qui concerne les concentrations en Si, les concentrations minimales observées au droit des stations H/6T et I/6U sont respectivement de 1,7 et 1,4 mg/L, les concentrations maximales étant respectivement de 9,4 et 9,8 mg/L. De même que pour les concentrations en Mg, aucune différence significative n'est observée entre les concentrations moyennes annuelles des années 2000 et 2009 au droit des stations H/6T ($[Si] = 5,93 \pm 1,8$ mg/L vs $[Si] = 5,49 \pm 1,48$ mg/L) et I/6U ($[Si] = 6,70 \pm 1,7$ mg/L vs $[Si] = 5,31 \pm 1,6$ mg/L).

Si nous nous intéressons maintenant à l'évolution de ces mêmes concentrations au droit des stations B/6S et F/6Q où les résultats des analyses en composantes principales menées précédemment montraient une évolution temporelle indépendante du régime des précipitations, nous pouvons effectivement constater une augmentation simultanée des concentrations en Mg et Si à partir de l'année 2006, conduisant à des valeurs significativement supérieures (Fig. 14). En effet, au niveau de la station F/6Q, entre janvier 2000 et Août 2006, les concentrations en Mg oscillaient entre 2 et 6,81 mg/L, avec comme nous l'avons vu précédemment des valeurs minimales suite aux épisodes pluvieux et des valeurs maximales suite aux longues périodes sèches. A partir d'Août 2006, ces concentrations augmentent pour osciller dès lors entre 8,53 et 19,5 mg/L en fonction des précipitations. Pour la période pré-2006, les valeurs moyennes annuelles varient selon les années de 4 ± 2 à $5 \pm 0,9$ mg/L. A partir d'Août 2006, ces mêmes moyennes annuelles oscillaient de $8 \pm 2,6$ à $12,8 \pm 2,6$ mg/L et étaient significativement supérieures à celles mesurées pour la période pré-2006 (test LSD $p < 0,05$).

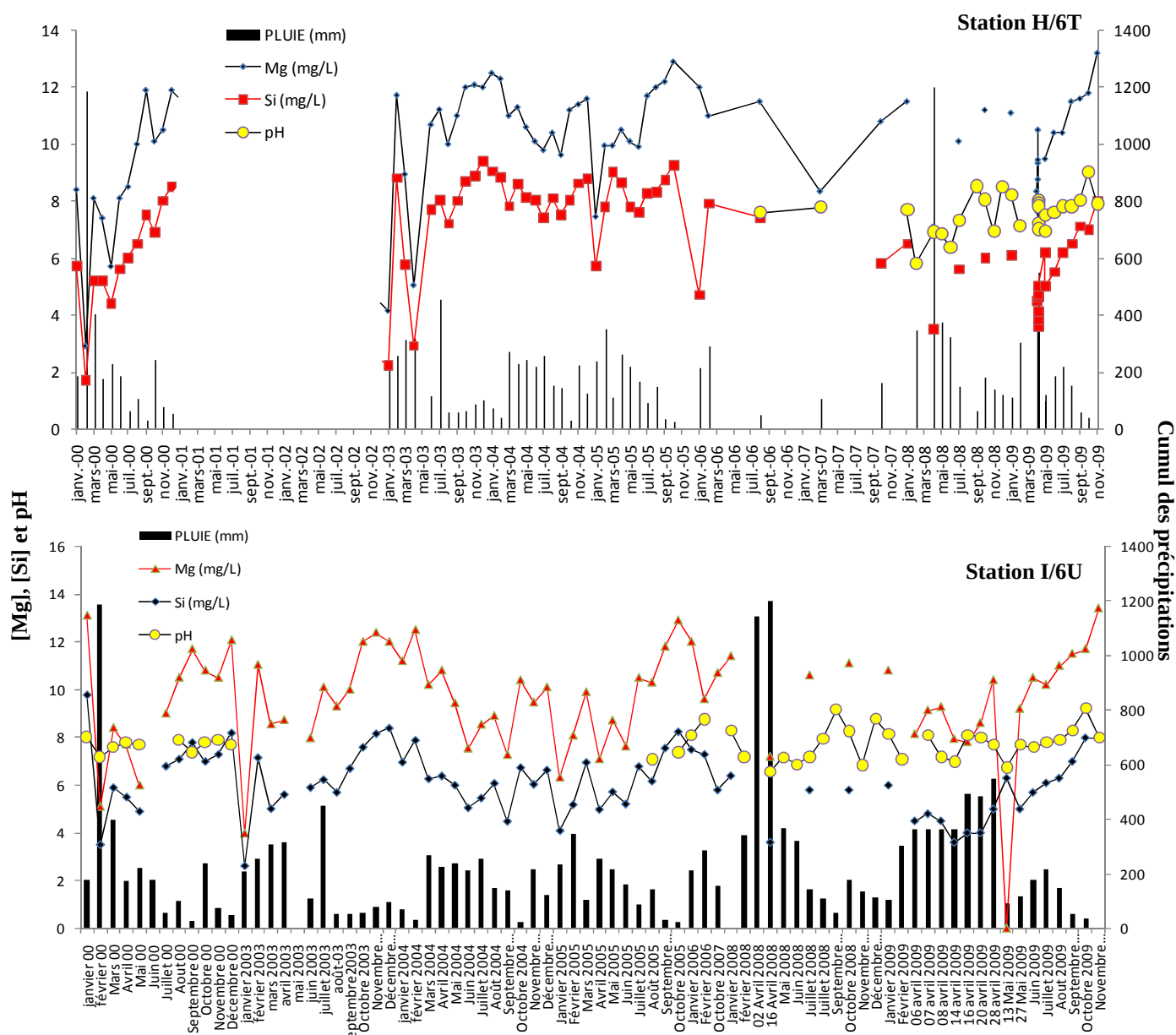


Fig.13 : Evolution temporelle des concentrations en Mg et Si et cumul des précipitations au niveau des stations H/6T et I/6U du réseau de suivi de la qualité physico-chimique du creek de la Baie Nord de VALE-INCO NC, entre 2000 et 2009.

De même, les concentrations moyennes annuelles en Si mesurées pour les années 2000 à 2005 ($2,17 \pm 1,7 < [\text{Si}] < 3,2 \pm 0,36$ mg/L) apparaissent significativement inférieures (test LSD ; $p < 0,005$) aux concentrations moyennes annuelles mesurées pour les années 2007 à 2009 ($5,6 \pm 1,2 < [\text{Si}] < 5,83 \pm 1,8$ mg/L).

Au droit de la station B/6S localisée sur le cours moyen du principal affluent du creek de la Baie Nord, nous constatons la même évolution. Avant Août 2006, les concentrations en Mg oscillaient entre 1,15 et 1,49 mg/L en fonction des précipitations, alors que suite à l'année 2006, ces dernières oscillaient, toujours en fonction des précipitations, entre 1,59 et 3,70 mg/L. De même que pour la station F/6Q, les concentrations annuelles moyennes des années 2003 à 2005 ($1,27 \pm 0,07 < [\text{Mg}] < 1,33 \pm 0,08$ mg/L) étaient significativement inférieures (test LSD, $p < 0,05$) aux concentrations annuelles moyennes mesuraient entre 2006 et 2009 ($2,25 \pm 0,28 < [\text{Mg}] < 2,88 \pm 0,49$ mg/L).

mg/L). Nous observons la même évolution pour les concentrations en Si dont les moyennes annuelles pour la période 2003-2005 ($0,1 \pm 0,06 < [\text{Si}] < 0,16 \pm 0,05$ mg/L) apparaissent significativement inférieures (test LSD, $p < 0,05$) aux moyennes annuelles calculées pour la période 2006-2009 ($0,9 \pm 0,3 < [\text{Si}] < 1,20 \pm 0,1$ mg/L).

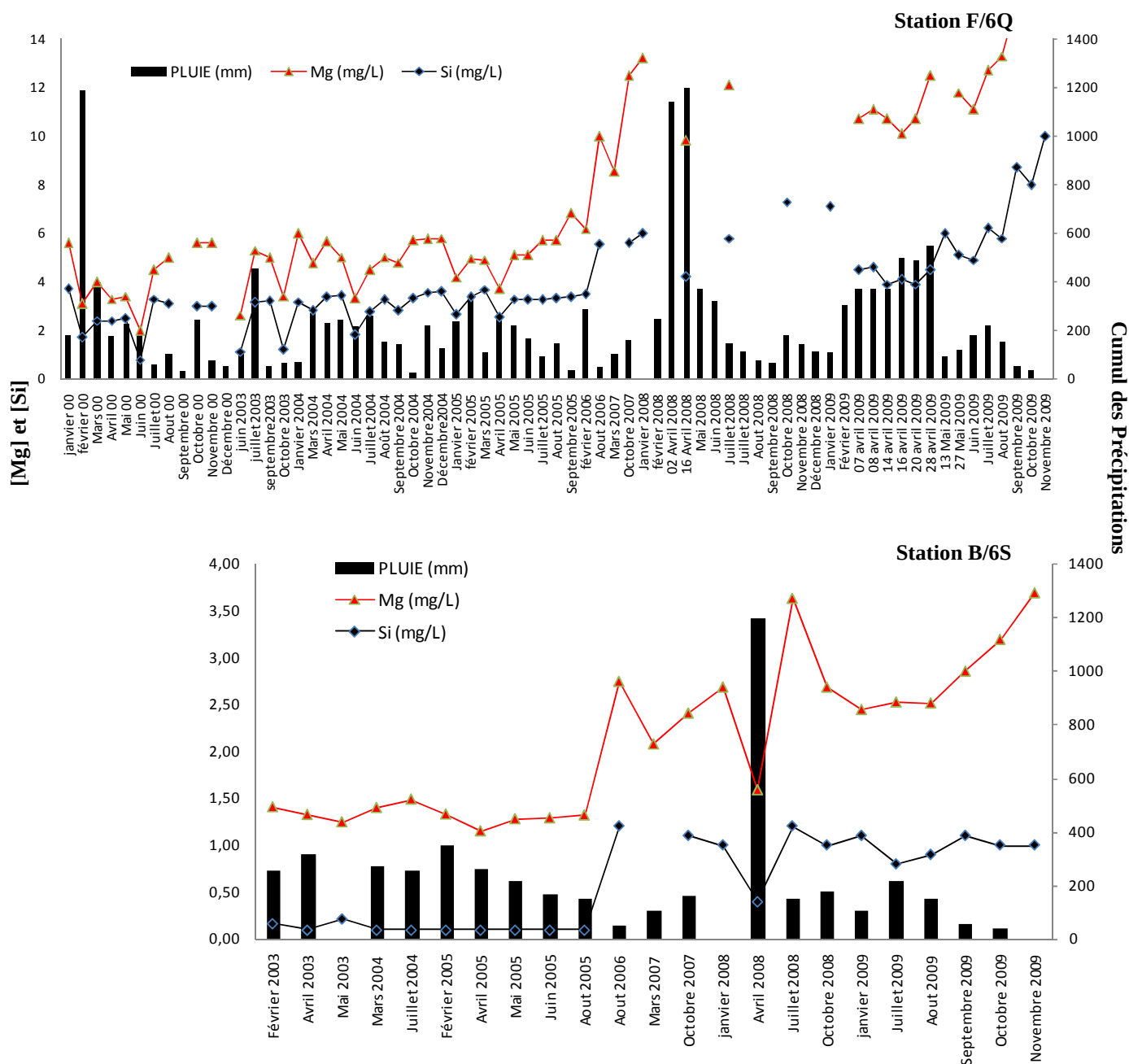


Fig.14 : Evolution temporelle des concentrations en Mg et Si et cumule des précipitations au niveau des stations B/6S et F/6Q du réseau de suivi de la qualité physico-chimique du creek de la Baie Nord de VALE-INCO NC, entre 2000 et 2009.

Ces derniers résultats nous permettent de constater qu'à partir de l'année 2006, une augmentation significative des concentrations en Mg et Si a été observée de manière simultanée sur l'ensemble des stations localisées au niveau des cours moyens des creeks du bassin versant de la Baie Nord, confirmant les tendances générales mises en évidence précédemment. Cette augmentation des concentrations au niveau des zones amont des creeks, non observée au niveau

des stations localisées sur le cours inférieur (H/6T et I/6U), nous suggère que la source à l'origine de ces changements est localisée dans la partie amont du bassin versant.

Rappelons que les concentrations en Mg et Si au sein des creeks drainant les régions latéritiques sont essentiellement liées aux apports effectués par les eaux de ruissellement infiltrées lessivant les sols et sous-sols des bassins versants. Le magnésium et la silice deux des composants des péridotites et de leurs premiers horizons d'altération (saprolites) font en effet partie des éléments perdus en premier lieu par les roches dans le processus d'altération par les eaux pluviales conduisant à la formation des horizons latéritiques. Les augmentations observées au niveau des cours moyens des creeks du bassin versant de la Baie Nord semblent donc nous indiquer une augmentation du lessivage des sols et sous-sols composant la partie amont du dit bassin. Cette augmentation du phénomène de lessivage des sols et sous-sols pourrait trouver son explication dans la reprise des opérations de terrassement liées au chantier de l'usine de transformation du Projet VALE INCO NOUVELLE-CALEDONIE. Rappelons en effet que ce chantier gelé de 2002 à fin 2004 a redémarré en 2005. Les opérations de terrassements ont repris en septembre 2005, en juillet 2006, 2/3 des ces dernières étaient réalisées au niveau des sites de la centrale et du port.

b - LES CONCENTRATIONS EN SO₄ ET Ca :

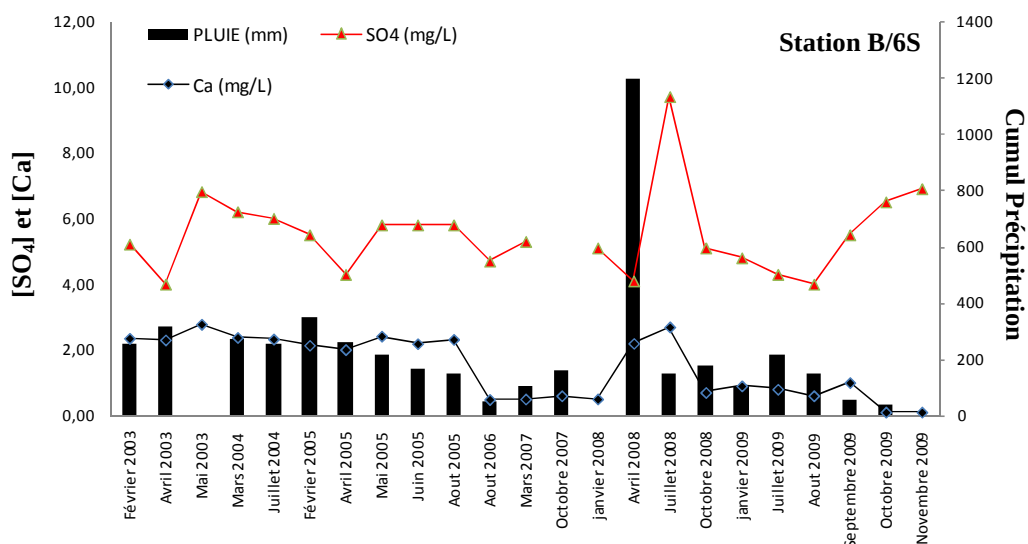
Concernant les concentrations en SO₄ et Ca, les différentes ACP menées sur les données collectées au droit des différentes stations du réseau de suivi, ont révélé une corrélation faible voire nulle entre ces deux métriques et la variables « cumul des précipitations ». Cette variable climatique semble donc ne pouvoir seule expliquer l'évolution de ces concentrations au sein des eaux de surface du bassin versant de la Baie Nord. Au regard de la distribution graphique des points de mesures au sein des différents plans de projection retenus pour la présentation de résultats des différentes ACP menées (Fig. 12), nous pouvons constater qu'au droit des différentes stations de mesures, les points présentant les plus fortes concentrations en SO₄ et Ca sont :

- soit des points de mesure effectués en période de faibles précipitations (octobre, novembre et décembre 2000, novembre 2003, juillet 2008, ainsi que les mois de septembre à novembre 2009) ;
- soit des points de mesures effectués suite à de forts évènements pluvieux (mars 2003, février et avril 2008,) ;
- soit des points de mesures effectués en janvier 2003, 2005, janvier-février 2006, mars 2007, janvier 2008, octobre 2008, où le régime des précipitations ne montre pas de valeurs extrêmes.

Afin de mieux visualiser ces tendances, l'évolution temporelle des concentrations en ces deux éléments au sein des eaux de surface du bassin versant du creek de la Baie Nord est représentée (Fig. 15). Au regard des résultats présentés sur ce graphe, nous pouvons constater dans un premier temps que les concentrations en SO₄ et Ca sont généralement faibles au sein des eaux de surface du bassin versant de la Baie Nord (respectivement < à 4 et 1 mg/L). D'autre part, on constate effectivement des augmentations de concentrations plus ou moins importantes en fonction des

stations lors des périodes d'été 2000 et 2003. Les concentrations atteintes sont généralement comprises entre 5 et 10 mg/L. Notons que les concentrations atteintes en novembre 2003 ont été particulièrement élevées et ont atteint 28,25 mg/L. Ce pic de sulfates et de calcium pourrait être lié aux fortes concentrations enregistrées au mois de mars.

Comme les concentrations en Mg et Si, les concentrations en SO_4 et Ca des eaux de surface de la région de Goro semblent donc dépendre naturellement en partie des apports amenés par les eaux souterraines minéralisées et des phénomènes de concentration/dilution des eaux de creek par les eaux pluviales faiblement minéralisées.



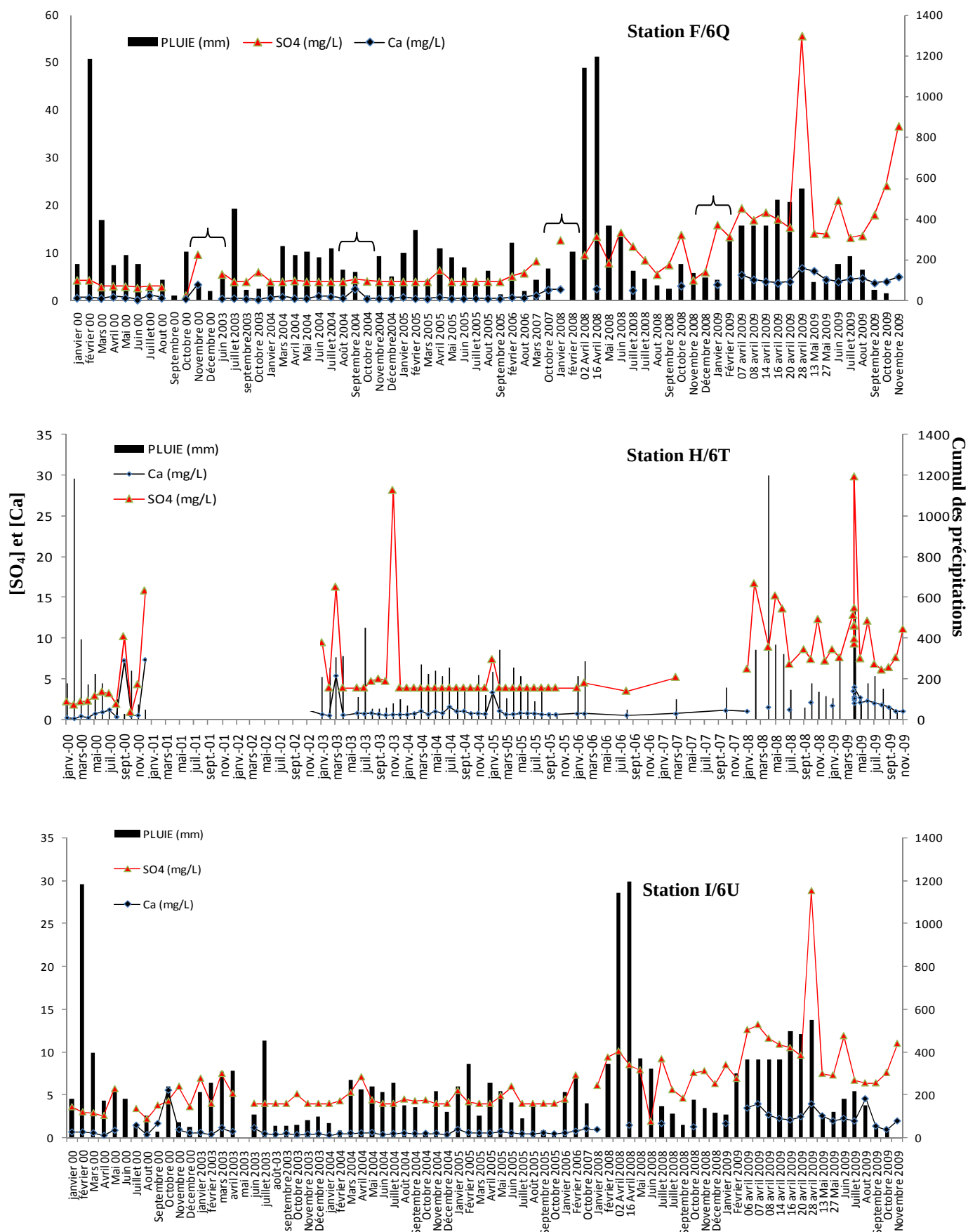


Fig.16 : Evolution temporelle des concentrations en SO₄ et Ca et cumul des précipitations au niveau des stations B/6S, F/6Q, H/6T et I/6U du réseau de suivi de la qualité physico-chimique du creek de la Baie Nord de VALE-INCO NC, entre 2000 et 2009.

Outre ces augmentations en périodes sèches, cette nouvelle analyse nous permet de constater que les mois de janvier 2003, 2005, janvier-février 2006, mars 2007, janvier 2008, octobre 2008, pour lesquels des augmentations de concentrations en SO_4 et Ca sont visibles, marquent la reprise des précipitations suite à des périodes plus sèches. Ces augmentations semblent liées à la reprise des précipitations et à l'arrivée des eaux de ruissellement au sein des creek, ces eaux apparaissant particulièrement chargées en SO_4 et Ca. Les phénomènes de concentrations en surface des composés ioniques des sols tropicaux en saisons sèche (remontée des solutions au travers des différents horizons des sols au fur et à mesure que l'évaporation de surface s'intensifie) et le lessivage de ces derniers lors des premières pluies pourrait expliquer les concentrations supérieures des eaux de ruissellement issues des premières pluies suivant les périodes sèches.

Nous pouvons également constater la présence d'augmentations importantes des concentrations à la suite d'épisodes pluvieux importants. Par exemple en mars 2003, suite à une forte pluie le 14/03/03 (174 mm/24h), nous pouvons observer au niveau de la station H/6T le 18/03/03, une forte augmentation des concentrations en SO_4 et Ca ($[\text{SO}_4] = 16,3 \text{ mg/L}$ et $[\text{Ca}] = 5,4 \text{ mg/L}$). Cette augmentation est visible dans une moindre mesure au niveau de la station I/6U ($[\text{SO}_4] = 7,49 \text{ mg/L}$ et $[\text{Ca}] = 1,2 \text{ mg/L}$). Le fait que les mesures au niveau de cette station aient été effectuées 2 jours après celles effectuées au niveau de la station H/6T, soit 6 jours après l'épisode pluvieux pourrait expliquer ces plus faibles concentrations. De même la mesure au niveau de la station F/6Q a été effectuée le 13/03/03, avant l'épisode pluvieux susmentionné, expliquant ainsi les concentrations plus faibles observées pour ce mois là ($[\text{SO}_4] = 5,9 \text{ mg/L}$ et $[\text{Ca}] = 0,31 \text{ mg/L}$).

Des phénomènes similaires sont observés lors de la saison humide 2008 qui rappelle le fût particulièrement pluvieuse. Les concentrations observées en février et avril 2008 au droit des stations F/6Q et H/6T oscillaient autour de 15 mg/L, valeurs comparable à celles observées suite à l'épisode pluvieux de mars 2003, elles oscillaient autour de 10 mg/L au niveau de la station I/6U localisée plus en aval.

Il semblerait donc que les forts évènements pluvieux soient à l'origine d'apports de sulfates et de calcium du fait d'un lessivage accru des sols.

Au regard des résultats acquis jusqu'en février 2009 (avant la fuite d'acide survenue sur le site de Vale Inco Nouvelle-Calédonie), l'entrée en phase de construction du Projet Vale Inco Nouvelle-Calédonie ne semble pas avoir modifié l'évolution naturelle saisonnière des concentrations en SO_4 et Ca au sein des eaux de surface du bassin versant de la Baie Nord. En effet, la seule phase d'augmentation significative des concentrations observées depuis le début du chantier a été identifiée lors de la saison des pluies 2008 et 2009 dont les conditions climatiques ont été particulièrement pluvieuses durant plusieurs mois.

Si nous nous intéressons maintenant aux concentrations en SO_4 et Ca mesurées au droit des différentes stations localisées le long du cours principal du creek de la Baie Nord suite au déversement acide du 01 avril 2009, nous pouvons constater qu'au sein du creek les concentrations en SO_4 étaient toujours élevées 6 à 7 jours après l'incident (12 à 19 mg/L respectivement au niveau de la station I/6U localisée sur la partie basse du creek et au niveau de la station F/6Q, localisée sur

le cours moyen du creek). Les pluies plus ou moins continues qui ont marqué cette période semblent avoir contribué à maintenir un apport continu de sulfates au sein du creek. Cet apport apparaît toutefois décroître avec le temps. Le 28 avril 2009, un pic important de sulfates fut observé au niveau de l'ensemble des stations. Les concentrations mesurées ce jour là ont respectivement atteint 55,5 ; 29,9 et 28,8 mg/L au droit des stations F/6Q, H/6T et I/6U. Les opérations de vidange du bassin de confinement du soufre localisé en amont de l'ensemble des stations s'étant déroulées à cette date apparaissent à l'origine de ce pic (source : VALE-INCO Nouvelle-Calédonie). Notons que depuis fin juin, conformément à la réglementation aucun rejet de ce bassin n'est effectué dans le creek.

Lors de la saison sèche 2009 qui suivit l'incident, nous pouvons constater que l'augmentation saisonnière des concentrations liée aux faibles débits et à l'alimentation du creek principalement par les eaux de la nappe, atteint des valeurs supérieures à celles usuellement mesurées pour cette période au droit de la station F/6Q ($[\text{SO}_4]$ = 36,6 et 15,9 mg/L respectivement aux mois de novembre 2009 et janvier 2009). Le même phénomène est constaté dans une moindre mesure au droit de la station I/6U ($[\text{SO}_4]$ = 11 et 8,5 mg/L respectivement aux mois de novembre 2009 et janvier 2009). Au droit de la station H/6T, nous pouvons également constater une augmentation liée au phénomène susmentionné mais les valeurs atteintes ne diffèrent pas significativement de celles atteintes en 2008 pour la même période ($[\text{SO}_4]$ = 12,4 et 11,2 mg/L respectivement pour les mois de Novembre 2008 et 2009).

Au regard de ces résultats il apparaît donc que suite à l'augmentation des concentrations en SO_4 observée début avril 2009 et liée à la fuite d'acide survenue sur le site de l'usine, ces dernières revinrent progressivement à la normale. Le pic de concentrations ayant été observés en fin de mois (28 avril), apparaît lié à des travaux de vidange effectués au sein du bassin de rétention de soufre et non directement à la fuite. D'autre part il semblerait également que cet incident ait engendré une acidification des eaux souterraines au droit du site, eaux qui lors de leur résurgence au sein du cours moyen du creek aient engendré une augmentation significative des concentrations en Sulfates au droit de la station F/6Q. Ces dernières se voient ensuite diluées au fur et à mesure de l'avancée de la masse d'eau le long du linéaire du creek via les apports d'eau secondaires.

C - LES CONCENTRATIONS EN AZOTE ET PHOSPHATE

↳ Les concentrations en nitrates (NO_3) :

Au sein des eaux de surface la concentration en NO_3 est régie à la fois par les apports en matière organique et la consommation par la flore aquatique. Au niveau des régions latéritiques les apports en matières organiques en provenance des sols des bassins versants sont généralement faibles, la quasi-totalité de ces composés azotés étant consommée par la végétation terrestre.

Au niveau du bassin versant du creek de la Baie Nord, les concentrations en nitrates mesurées entre 1994 et 2000 étaient en moyennes de 0,5 mg/L. Au sein de l'ensemble des creeks du secteur

de Goro, les concentrations moyennes en nitrates reportées par RESCAN (2000) et la SNC Lavalin (1994 et 1995), oscillaient entre 0,082 et 0,83 mg/L respectivement en mai 2000 et mars 1995.

Les mesures effectuées durant la période 2005-2009 au droit des différentes stations de suivi du creek de la Baie Nord montrent que les concentrations en NO_3 se maintiennent entre 0,23 et 1,3 mg/L (cf. tableau 2).

[NO ₃] (mg/L) moyenne $\pm$ écart-type	Station B/6S	Station F/6Q	Station H/6T	Station I/6U
2005	0,5	0,9	0,70	
2007	0,75 $\pm$ 0,35	1,30 $\pm$ 0,28	0,90 $\pm$ 0,14	0,7
2008	0,23 $\pm$ 0,20	0,89 $\pm$ 0,44	0,45 $\pm$ 0,29	0,54 $\pm$ 0,37
2009	0,72 $\pm$ 0,33	0,96 $\pm$ 0,36	0,86 $\pm$ 0,83	0,55 $\pm$ 0,24

Tableau 2 : Concentrations moyennes annuelles en Nitrates (moyennes $\pm$ écarts-types) mesurées au droit des différentes stations du réseau de suivi du bassin versant du creek de la Baie Nord (source Vale Inco Nouvelle-Calédonie)

Ces valeurs moyennes annuelles sont toutefois difficiles à interpréter en l'état sans tenir compte des évolutions des paramètres climatiques saisonniers pouvant fortement influencer celles-ci. En effet, si nous nous intéressons à la distribution de ces variables au sein des plans de projection retenus dans le cadre des ACP menées sur les données collectées au droit de chacune de ces stations (Fig. 17), nous pouvons constater que pour les stations F/6Q et I/6U, les concentrations en NO_3 covarient de manière positive avec le cumul des précipitations. Cette distribution semble indiquer un apport de nitrates *via* les eaux de ruissellement conformément au phénomène décrit ci-dessus. Cette covariation n'apparaît pas de manière évidente au niveau des stations B/6S et H/6T.

Si nous nous intéressons dans un premier temps à l'évolution temporelle des concentrations en NO_3 au droit des stations F/6Q et I/6U, nous pouvons constater que ces dernières présentent des valeurs maximales durant les saisons humides des années 2007 à 2009 ($1 < [\text{NO}_3] < 1,5$ mg/L et $0,5 < [\text{NO}_3] < 1,3$ mg/L respectivement au droit des stations F/6Q et I/6U). Au contraire lors de la courte période sèche 2008 et lors de l'étiage 2009, une diminution de ces concentrations est observée. Les valeurs mesurées chutent en effet pour atteindre des concentrations inférieures à 0,5 mg/L. Cette chute pourrait s'expliquer par une consommation des nitrates par la flore aquatique dont les conditions de luminosité, les températures et la stabilité hydraulique caractérisant les périodes sèches estivales favorisent le développement. Précisons ici que nous reviendrons ultérieurement sur la présence éventuelle d'autres paramètres pouvant influencer le développement algal.

En ce qui concerne la station H/6T, au regard de l'évolution temporelle des concentrations en NO_3 , nous pouvons constater l'existence d'une tendance similaire à celle décrite ci-dessus, des valeurs comprises entre 0,7 et 1 mg/L caractérisent les points de mesures effectués en saison des pluies 2007, 2008 et 2009 et suite à de forts épisodes pluvieux comme en Octobre 2007 (379 mm de cumul mensuel de précipitation pour le mois de septembre précédent la mesure). Il faut toutefois souligner ici que la reprise des précipitations fin décembre/janvier 2009 a conduit à des

concentrations en nitrates 3 à 4 fois supérieures à celles usuellement mesurées au droit de cette station suite à des épisodes pluvieux (3,8 vs 1 mg/L). Le même constat peut être fait au niveau de la station B/6S localisé sur un affluent du creek. En effet, comme nous pouvons le lire sur le graphique présenté pour cette station en figure 18, suite à la reprise des pluies de fin 2008/début 2009, des concentrations 2 fois supérieures à celles mesurées en saisons des pluies 2008 ont été mesurées (1,2 vs 0,5 mg/L). Ces concentrations présentaient des niveaux similaires à celles observées en mars 2007 (≈ 1 mg/L).

Une décroissance de ces concentrations est ensuite observée lors des périodes plus sèches 2008 et 2009 (entre avril et octobre), les valeurs mesurées oscillant autour de 0,5 mg/L (Cf. Fig. 18).

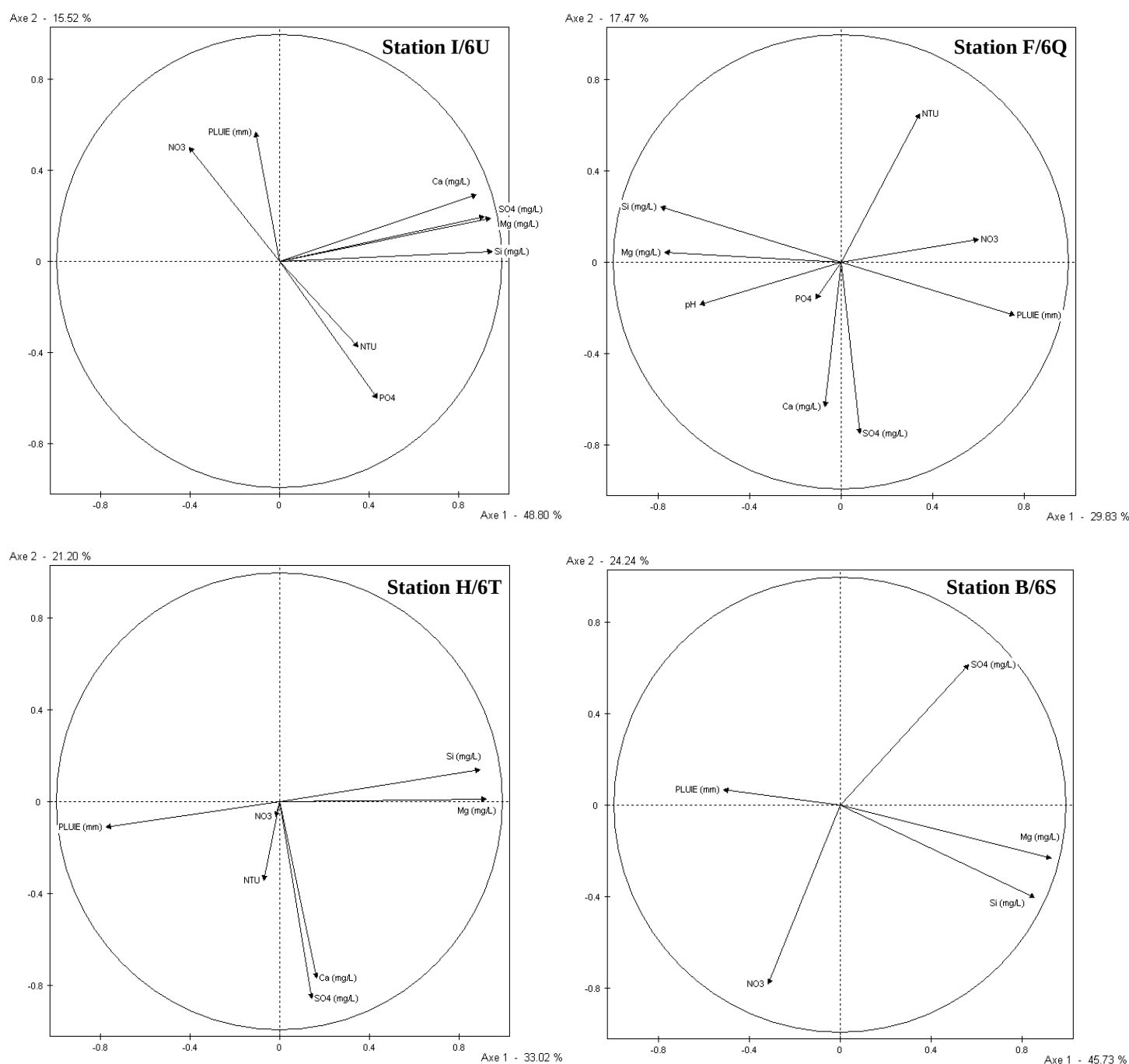
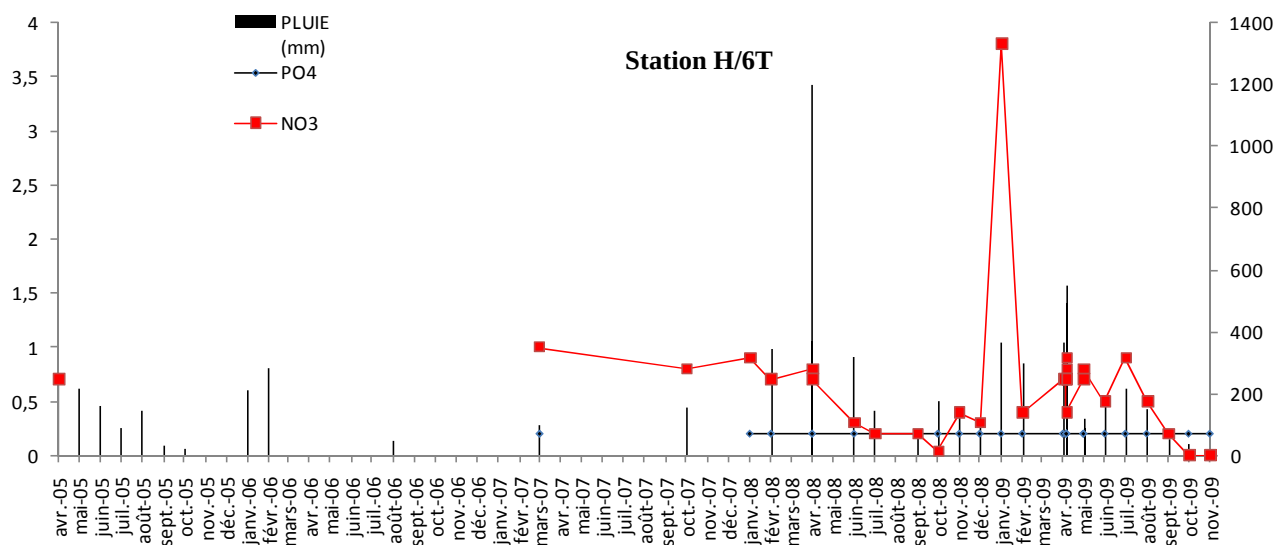
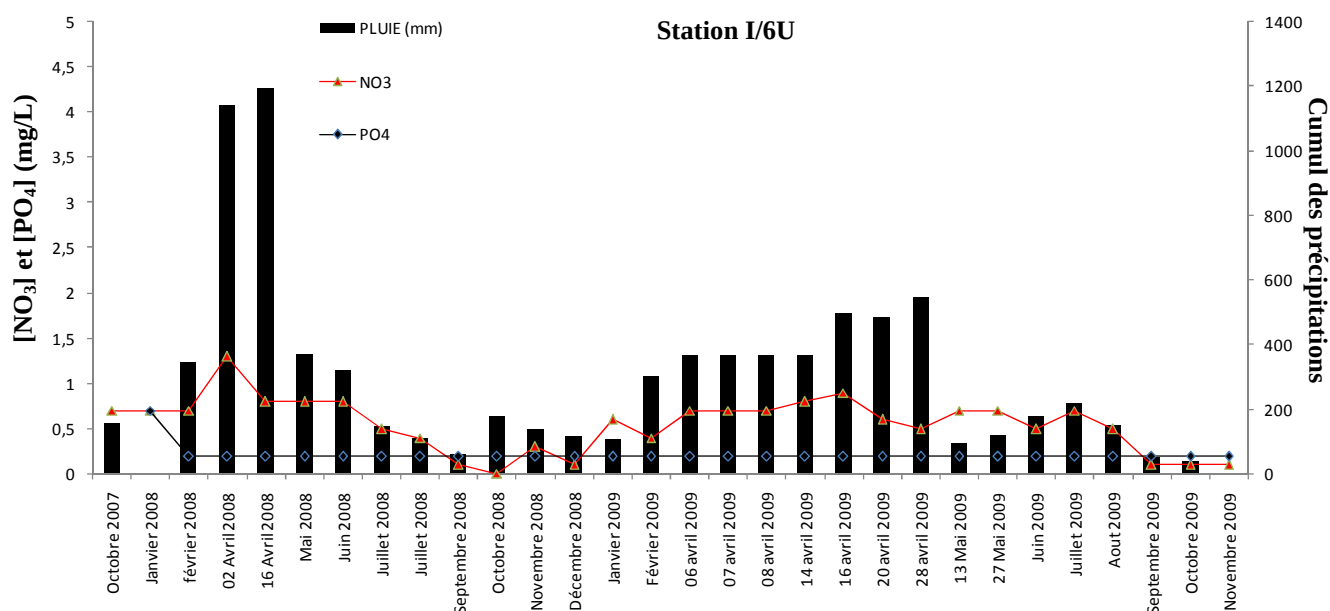
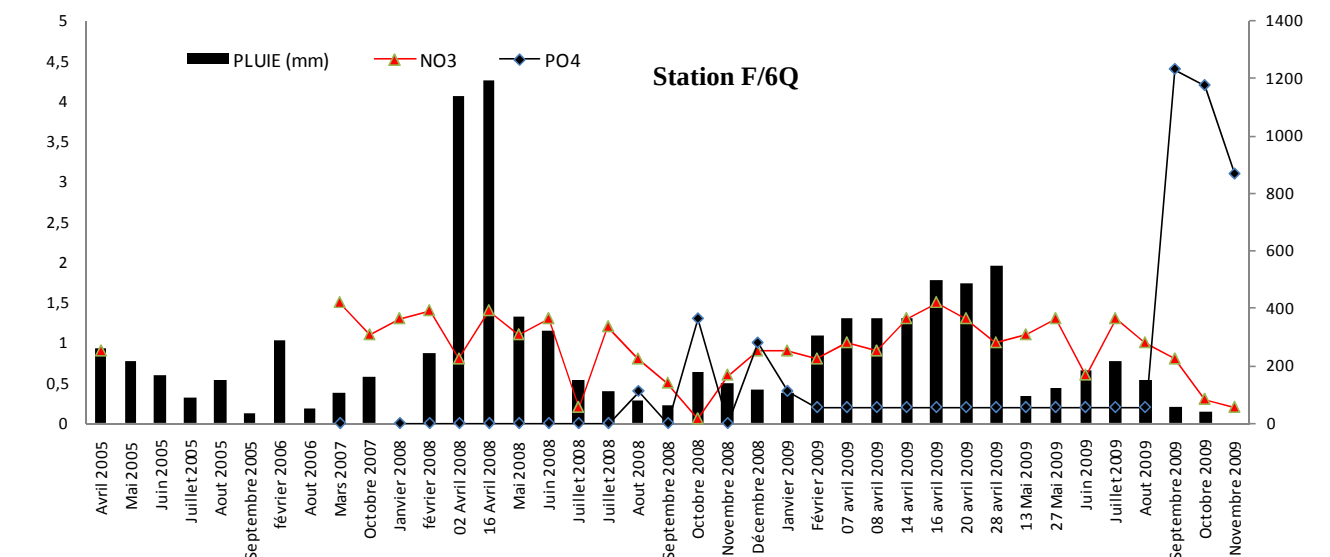


Fig. 17 : Projection sur le plan défini par les deux premiers axes des variables actives de l'ACP menée sur les variables physico-chimiques relatives aux concentrations en nutriments, éléments minéraux et au régime des précipitation des eaux du creek de la Baie Nord entre mars 2007 et décembre 2009 au droit des différentes stations du réseau de suivi du creek de la Baie Nord par VALE-INCO NC.



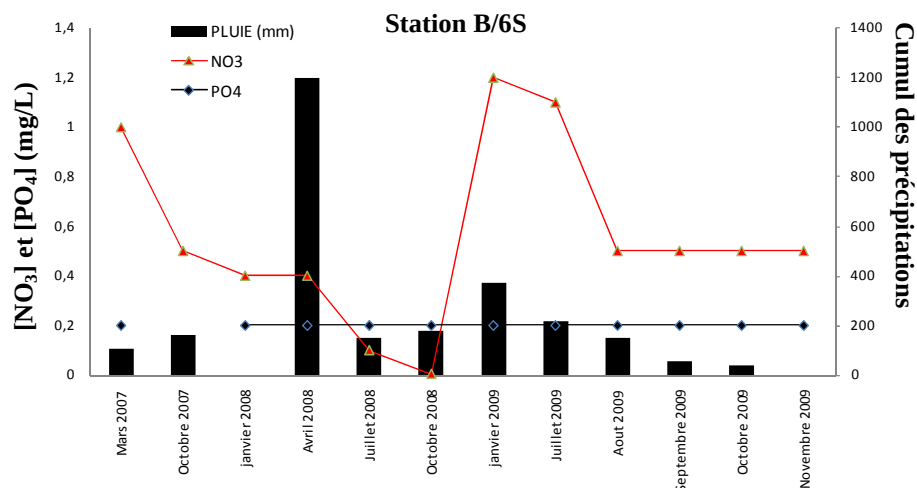


Fig.18 : Evolution temporelle des concentrations en NO₃ et PO₄ en fonction du cumul mensuel des précipitations au droit des différentes stations du réseau de suivi des eaux de surface du bassin versant du creek de la Baie Nord du Projet Vale-Inco NC (source Vale-Inco NC)

Entre 2005 et janvier 2008 les eaux usées de la base vie ont été rejetées au sein du creek entre les stations F/6Q et H/6T après traitement en station d'épuration. Concernant l'impact de ce rejet sur les concentrations en NO₃ des eaux du creek, en revenant sur les valeurs mesurées au droit de la station H/6T lors des deux périodes d'étiage 2007 (présence du rejet) et 2008 (absence de rejet), nous pouvons constater que pour des débits similaires (0,128 et 0,158 m³/s, respectivement en 2007 et 2008), une chute des concentrations est observée en 2008 (0,038 vs 0,8 mg/L en 2008 et 2007 respectivement). Il est toutefois important de noter que cette chute est également visible au niveau de la station F/6Q localisée en amont du rejet (0,058 vs 1,1 mg/L en 2008 et 2007 respectivement). Nous pouvons par ailleurs noter que le facteur de dilution calculé pour l'année 2008 entre ces deux stations était similaire à celui mesuré en 2007 (Facteur de dilution de 1,5 vs 1,4 respectivement en 2008 et 2007). La chute significative des concentrations observée entre 2007 et 2008 au droit de la station H/6T n'est donc pas imputable à l'arrêt du rejet de l'effluent de la station d'épuration, mais à une diminution de la charge en NO₃ arrivant de l'amont. Cette diminution est à corrélérer avec l'augmentation significative des concentrations en Phosphates observées à l'étiage 2008 au niveau de la station F/6Q, augmentation ayant entraîné une augmentation du taux de croissance algal et de fait une surconsommation des nitrates. Ce point sera développé dans le paragraphe suivant concernant l'évolution des concentrations en phosphates au sein du bassin versant du creek de la Baie Nord.

Au regard des données analysées portant sur la période s'étendant de mars 2007 à décembre 2009, il n'apparaît pas d'impact notable du rejet de la station d'épuration sur les concentrations en NO₃ mesurées entre mars 2007 et janvier 2008. Il faut toutefois mentionner en ce qui concerne cette métrique que le jeu de données couvrant la période s'étalant de février 2005 à janvier 2008, est relativement peu fourni et ne permet pas de suivre précisément le cycle saisonnier des nitrates et l'influence du rejet sur ce dernier.

Si nous nous intéressons maintenant aux résultats de l'ACP menée au droit de la station F/6Q (Fig. 12 reportée en partie ci-dessous pour faciliter la lecture), nous pouvons constater que les points de mesures réalisés à l'été 2009 (septembre, octobre et novembre) ainsi qu'au mois d'octobre 2008 s'individualisent au sein d'un groupe caractérisé par de fortes concentrations en PO_4 (cercle en rouge).

Si nous nous intéressons maintenant aux résultats de l'ACP menée au droit de la station F/6Q (Fig. 12 reportée en partie ci-dessous pour faciliter la lecture), nous pouvons constater que les points de mesures réalisés à l'été 2009 (septembre, octobre et novembre) ainsi qu'au mois d'octobre 2008 s'individualisent au sein d'un groupe caractérisé par de fortes concentrations en PO_4 (cercle en rouge).



Extrait Fig. 12 : Projection sur le plan défini par les deux premiers axes de l'analyse des résultats de l'ACP menée sur les différentes variables descriptives des concentrations en nutriments et oligoéléments minéraux relatives aux différents points de mesures effectués au niveau de la station F/6Q du réseau de suivi de la qualité physico-chimique du creek de la Baie Nord de VALE-INCO NC, entre 2000 et 2009.

L'analyse de l'évolution temporelle des concentrations en Phosphates au droit de cette station montrent effectivement la présence d'une augmentation significative de ces dernières lors des

étiages 2008 et 2009 (cf. Fig.18). En 2008, les concentrations moyennes mesurées pour la période allant d'août à décembre étaient de $0,62 \pm 0,35$ mg/L, elles étaient de $2,98 \pm 1,5$ mg/L pour la même période en 2009, alors qu'avant 2008 ces dernières restaient inférieures à 0,2 mg/L lors de l'étiage.

Comme pour les concentrations en nitrates, les concentrations en Phosphates dépendent des apports de matière organique amenés par les eaux de ruissellement et de la consommation de ces derniers par la flore aquatique. Ces apports sont comme nous l'avons vu généralement faibles en région latéritique. Aux vues des données analysées ici, nous observons donc une augmentation significative à partir de l'année 2008 des concentrations en PO_4 au sein du cours moyen du creek en période de diminution de débit. Début 2008, la centrale thermique de Prony Energie est entrée en fonctionnement. Cette dernière rejette au sein du creek ses eaux de refroidissement potentiellement chargées en phosphates. En période humide, les débits moyens du creek permettent d'assurer la dilution satisfaisante de ces eaux, par contre en période plus sèche, le débit du creek n'assure plus une dilution satisfaisante des eaux, entraînant une augmentation des concentrations en PO_4 au droit de la station F/6Q. Nous pouvons effectivement constater que lors de l'étiage 2009, plus sévère que l'étiage 2008, la diminution plus importante du débit du creek (débits moyen sur la période août-décembre = 0,18 et 0,08 m³/s, respectivement en 2008 et 2009), a entraîné des valeurs moyennes de concentrations en PO_4 significativement plus élevées que celles atteintes en 2008 (test t ; $p < 0,05$).

La covariation des concentrations en PO_4 et de la turbidité observée à la lecture de la projection des variables au sein du plan retenu pour présenter les résultats de l'ACP menée au droit de cette station, nous permet de constater que cette augmentation des concentrations en éléments nutritifs phosphatés a entraîné une augmentation de la croissance algale retranscrite aux travers des augmentations significatives de turbidité constatées lors des étiages 2008 et 2009 (Turbidité moyenne sur la période août-décembre = $6,20 \pm 0,35$ et $10,13 \pm 4,8$ NTU respectivement en 2008 et 2009 vs 1,95 NTU en 2007). Cette prolifération algale expliquant également les chutes des concentrations en NO_3 observées lors des étiages 2008 et 2009 engendrant pour ces deux périodes des concentrations significativement inférieures à celles observées en 2007, comme vu ci-dessus.

Il semblerait donc au regard de ces résultats que la prolifération d'algues vertes observées au niveau du creek ait été engendrée par l'augmentation des concentrations en phosphates liée à l'entrée en activité de la centrale de Prony énergie.

Au niveau du cours inférieur du creek (stations H/6T et I/6U), ces augmentations ne sont plus visibles, les concentrations en PO_4 se maintenant en effet, en deçà la limite de détection des appareils de mesure, même pour les périodes d'étiages susmentionnées. Notons toutefois que les algues pélagiques entraînées par le courant vont dériver vers l'aval, représentant alors elles mêmes lors de leur décomposition une source de matière organique supplémentaire pour les producteurs primaires du cours inférieur du creek.

2.2.2.4 Conclusion :

Cette analyse de l'ensemble des données physico-chimiques collectées au droit du réseau de suivi des eaux de surface du bassin versant du creek de la Baie Nord a permis de caractériser l'évolution des conditions abiotiques de cet écosystème suite à l'entrée en phase de construction du site de VALE INCO NOUVELLE-CALEDONIE.

Nous avons pu constater que les opérations de terrassement et de construction liées au chantier, n'ont pas eu d'impact significatif sur les conditions hydrauliques du creek. Par contre notre analyse des conditions hydrologiques couplées à l'analyse des conditions météo ayant régies ces dernières nous ont permis de constater que les années 2007, 2008 et le début de l'année 2009 ont été marquées par des précipitations abondantes ayant entraîné de fortes augmentations de débits au niveau des creeks du bassin versant. Le régime hydraulique de ces derniers a par ailleurs été caractérisé par une grande instabilité durant toute cette période.

Concernant les concentrations en MES au sein du creek, l'analyse des données fournies nous a permis de montrer que les valeurs mesurées restaient généralement faibles et inférieures à 5 mg/L. Seule la survenue d'événements pluvieux importants (50 mm de précipitations sur trois jours), entraîne une augmentation significative de ces dernières, qui peuvent alors atteindre des valeurs importantes (> 200 mg/L), notamment lorsque le cumul des pluies sur 3 jours est supérieur à 100 mm. Un phénomène similaire a été observé par nos équipes sur le massif ultrabasique du KONIAMBO, où des événements pluvieux conséquents (50 mm en 24 h) généraient des augmentations significatives des concentrations en MES mesurées au sein des eaux des creeks drainant le secteur. Nous avons pu constater au cours de notre étude que ce phénomène présentait une intensité similaire en 2003 et 2008, la montée en puissance du chantier de construction entre ces deux années ne semblant pas avoir entraîné de modification significative. Notons toutefois que le décapage des différentes aires avait eu lieu en 2002 avant le gel du chantier.

Concernant cette thématique il nous ait apparu difficile de conclure sans ambiguïté sur les impacts réels induits par le chantier. En effet lors de l'année 2000, prise comme année de référence dans notre analyse, l'absence d'augmentation des concentrations en MES constatée au regard des mesures mensuelles effectuées, ne signifie pas que ces dernières se soient maintenues stables. En effet les mesures ont pu être effectuées hors période influencée par un événement pluvieux important.

Les concentrations en métaux traces associés aux MES sont apparues stables tout au long du suivi réalisé. Ces dernières sont en effet demeurées faibles, inférieures aux limites de détection des différents appareils utilisés. Seule une augmentation des concentrations en Mn ont été observées en mai 2009.

Au regard des mesures effectuées il n'a pas été mis en évidence, par nos différentes analyses, d'impact notable des rejets des effluents de la station d'épuration de la Base-Vie du projet sur les concentrations en nitrates au droit de la station H/6T localisée 500 m environ à l'aval du point de rejet, en aval de la confluence avec un des affluents principal du creek.

Concernant les concentrations en éléments minéraux et nutriments autres que les nitrates, nous avons pu constater que le chantier de construction a été à l'origine d'une augmentation significative des concentrations en Mg et Si à partir du second semestre 2006. Une augmentation des concentrations en PO_4 a également été constatée au droit du cours moyen du creek de la Baie Nord lors des périodes d'étiage 2008 et 2009, suite à l'entrée en production de la centrale de Prony Energie. L'ensemble de ces apports en éléments minéraux et nutritifs a entraîné lors des étiages 2008 et surtout 2009, une prolifération des producteurs primaires aquatiques comme en témoignent les valeurs de turbidité élevées mesurées.

3 EVOLUTION DES COMMUNAUTES DE MACROINVERTEBRES AU SEIN DU CREEK

Un indice biotique basé sur la composition des communautés d'invertébrés aquatique des creeks calédoniens a été élaboré début 2000 : l'IBNC. Cet indice basé sur la présence/absence des *taxa* polluo-tolérants et polluo-sensibles aux altérations organiques a été conçu pour évaluer la qualité biologique des cours d'eau (zone lothique). Un deuxième indice, cette fois destiné à caractériser les altérations d'origine minérale à dernièrement été conçu et est à l'heure actuelle soumis à validation auprès d'experts scientifiques : l'IBS.

Concernant l'IBNC, les notes peuvent s'échelonner théoriquement de 0 (aucun individu recueilli) à 10 (tous les taxons recueillis ont une polluosensibilité maximale). Les classes de qualité définies sont :

IBNC	Qualité
$IBNC \leq 3,50$	Très mauvaise
$3,51 \leq IBNC \leq 4,50$	Mauvaise
$4,51 \leq IBNC \leq 5,50$	Passable
$5,51 \leq IBNC \leq 6,50$	Bonne
$IBNC \geq 6,51$	Excellente

Afin de s'assurer de la qualité biologique du creek de la Baie Nord et de suivre l'évolution de cette dernière lors de la phase de construction et d'exploitation de son usine de production de nickel et cobalt, VALE INCO NOUVELLE-CALEDONIE a fait procéder depuis 2005 à une série de campagnes de collecte d'invertébrés aquatiques destinées à évaluer la note IBNC et suivre son évolution. Ces campagnes ont vu leur localisation et leur fréquence évoluer en fonction des différents arrêtés d'autorisation d'exploitation accordés au titre de la réglementation ICPE (cf. avant-propos).

Outre l'obtention de la note IBNC, ces campagnes ont permis l'obtention de liste faunistique permettant de caractériser l'évolution de la structure des communautés benthiques du creek de la Baie Nord depuis 2002.

Afin d'analyser l'influence des modifications physico-chimiques caractérisées ci-dessus sur la composition des communautés et sur les notes IBNC obtenues nous allons maintenant procéder à une série d'analyses permettant de corréliser les données physico-chimiques et biologiques collectées. Ces analyses nous permettront au travers d'une approche écosystémique du fonctionnement du creek de la Baie Nord de caractériser l'évolution de cet écosystème aquatique depuis le début des travaux de construction du site de Vale Inco Nouvelle-Calédonie.

3.1 CARACTERISATION DE L'ETAT INITIAL DES COMMUNAUTES BENTHIQUES DU CREEK DE LA BAIE NORD :

Aucune caractérisation de la faune benthique et évaluation de la note IBNC n'a été faite en 2000 lors de la campagne de suivi ayant permis de caractériser l'état de référence du creek.

La première collecte d'invertébrés benthique au droit du creek de la Baie Nord remonte au 2 juillet 2002 et avait été effectuée au droit de la station 6BNOR100, localisée sur le cours inférieur du creek de la Baie Nord. Le relevé faunistique transmis par la DAVAR (annexe 1), nous permet de constater que la communauté benthique de cette station à cette date était composée de 10 taxa. La note IBNC obtenue était alors de 5, indiquant une qualité biologique du cours d'eau passable au regard des altérations organiques.

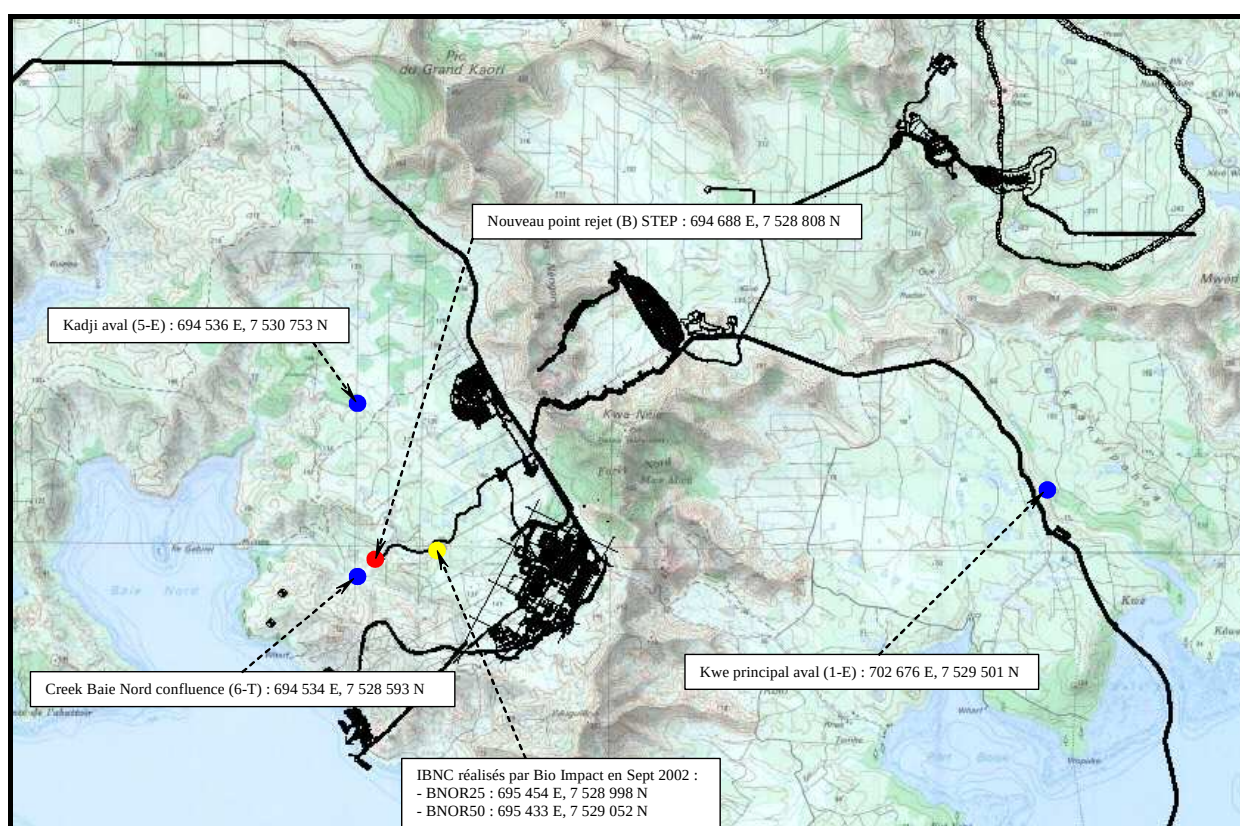


Fig. 19 : Plan de localisation des stations échantillonnées en 2002 et 2005 dans le cadre du suivi de la qualité biologique des eaux du creek de la Baie Nord.

Cette même année, une seconde campagne de prélèvement avait été effectuée le 28 août 2002 au droit des stations 6BNOR25 et 6BNOR50 localisé plus en amont sur le creek (cf. Fig. 19). Les notes IBNC obtenues en août 2002 au droit des deux dernières stations susmentionnées montraient une eau présentant une bonne qualité biologique (IBNC = 5,625 et 5,875 au droit des stations 6BNOR25 et 6BNOR50 respectivement). Suite à la phase de latence qui marqua le chantier de construction entre 2002 et fin 2004/début 2005, un nouveau prélèvement fût effectué en février

2005, au niveau de la station H/6T avant rejet des effluents de la station d'épuration 1. Lors de cette campagne 14 *taxa* furent collectés dont 5 appartenant aux ordres des Ephéméroptères et Trichoptères. La note IBNC obtenue était de 6, indiquant toujours une bonne qualité biologique du cours d'eau au regard des altérations organiques. La note IBS était de 5, indiquant une qualité de l'eau « passable » au regard des altérations sédimentaires.

Ce dernier prélèvement et les valeurs des différentes métriques décrivant la structure des communautés obtenues seront donc considérés comme état de référence des communautés benthiques et de la qualité biologique du creek dans l'étude de l'impact des rejets organiques du projet au sein du creek.

3.2 EVOLUTION DE LA QUALITE BIOLOGIQUE DES EAUX DU CREEK

3.2.1 CARACTERISATION DE L'EVOLUTION DU DEGRE DE STRUCTURATION DES COMMUNAUTES DE MACROINVERTEBRES BENTHIQUES

3.2.1.1 Etude de la structure des communautés au travers l'utilisation de descripteur simple :

Les invertébrés benthiques peuplant les cours d'eau s'organisent en communautés, communautés dont la structure est régie par différents facteurs abiotiques (vitesse du courant, composition chimique de l'eau,...) et biologiques (relations de compétition, proies-prédateurs,...)

Plusieurs métriques simples peuvent être utilisées pour décrire la structure des communautés d'invertébrés benthiques (richesse taxonomique, indice de diversité, indice EPT, % de larves de *Chironomidae*,...) Ces métriques et leur évolution dans le temps en fonction des paramètres abiotiques permettent de suivre le degré de structuration des communautés et ainsi définir leur état de « santé » général.

Afin de caractériser l'évolution des communautés benthiques du creek de la Baie Nord, nous utiliserons donc dans un premier temps ces différentes métriques afin de définir la structure des populations rencontrées lors des différentes campagnes d'échantillonnage, puis nous analyserons l'évolution de ces métriques au regard de l'évolution des métriques physico-chimiques descriptives de la qualité physico-chimique de cet écosystème aquatique.

Cette étude nous permettra donc de caractériser *in-fine* les principaux facteurs abiotiques ayant influencés la composition des communautés de macroinvertébrés au cours de la phase de construction du chantier. Dans un second temps l'intégration à l'analyse des notes IBNC et IBS obtenues lors de ce suivi, permettra d'évaluer les résultats obtenus au travers l'utilisation de ces outils de bioindication.

Les différentes métriques descriptives des communautés utilisées au cours de notre analyse seront :

- La richesse taxonomique : décrite au travers du nombre de *taxa* présents (N) et indice de Margalef (D) ;
- La diversité biologique : la diversité des éléments d'une communauté est un concept qui recouvre deux aspects distincts :
 - le nombre de taxons recensés (familles, genres ou espèces) ;
 - la régularité de la répartition numérique des taxons dans l'inventaire : les différents taxons présentent-ils une fréquence d'occurrence voisine ou non ?

Afin d'évaluer la diversité biologique nous utiliserons l'indice de Shannon-Weaver s'exprimant sous la forme :

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i^4$$

L'interprétation de la valeur obtenue sera faite au travers du calcul de l'Équitabilité, qui permet de comparer la diversité mesurée au droit d'une station à la diversité maximale attendue en condition optimale.

- L'indice EPT : cet indice est basé sur le calcul du nombre de *taxa* appartenant aux ordres des Ephéméroptères et des Trichoptères (les Plécoptères étant absents de Nouvelle-Calédonie), deux ordres d'insectes dont les larves aquatiques répondent rapidement aux différents types d'altérations ;
- Le % de larves de *Chironomidae*, cet indice est généralement utilisé en complément de l'indice EPT. A l'inverse de ce dernier, un fort % de larves de *Chironomidae* indique une déstructuration de la communauté.

L'ensemble des valeurs des métriques calculées pour les différents relevés effectués entre février 2005 et septembre 2009 sont fournis dans le tableau ci-dessous.

⁴ Le choix de la base du logarithme retenue pour le calcul de l'indice de Shannon peut se faire de manière arbitraire. Les plus utilisées sont les logs de base 2 (initialement utilisé par Shannon et permet l'expression en bit du résultat), de base 10 et le log népérien. Notons que l'interprétation de cet indice au travers l'indice d'équitabilité, nous permet quelque soit la base du logarithme utilisée, d'obtenir le même résultat.

	N	IBNC	IBS	EPT	%EPT	% Chiro	Margalef	EQ
févr.-05	14	6	5	5	59,3	31,54	2,6	0,7
mars-06	13	4,63	4,4	4	37,14	57,14	2,82	0,57
juin-06	10	5,75	5,5	3	17,36	57,64	1,81	0,72
août-06	17	5,36	4,58	5	5,58	91,15	2,38	0,43
sept.-06	20	5,5	4,75	6	8,23	84,28	2,68	0,33
oct.-06	18	4,92	4,43	5	5,25	72,42	2,11	0,44
nov.-06	21	5,63	5	7	30,13	24,03	2,79	0,64
déc.-06	22	4,93	4,47	6	19,84	40,31	3	0,64
janv.-07	18	5,5	4,87	6	59,57	27,96	2,93	0,6
févr.-07	20	5,44	4,76	6	47,42	34,74	3,54	0,79
mars-07	15	5,58	4,83	7	33,33	51,77	2,83	0,75
avr.-07	12	5,25	4,6	5	76,06	19,72	2,22	0,58
mai-07	13	6	5,25	8	63,33	28,89	2,67	0,8
juin-07	16	5,17	4,77	5	9,78	87,43	2,15	0,43
juil.-07	7			1	0,56	93,89	1,16	0,33
août-07	14	5,17	5,09	2	0,75	80,15	2,33	0,51
sept.-07	11	4,71	4,5	2	1,09	92	1,78	0,28
oct.-07	11	5,43	4,75	3	2,36	85,85	1,87	0,28
nov.-07	11	5,29	5,5	2	1,07	80,56	1,63	0,3
déc.-07	14	5,82	5,42	3	8,3	36,24	2,39	0,57
janv.-08	12	5,43	4,5	3	0,59	85,45	1,38	0,34
avr.-08	5			2	2,42	95,16	0,83	0,16
mai-08	6			2	0,76	98,98	0,75	0,08
juin-08	4			1	1,04	98,7	0,5	0,07
juil.-08	7			3	0,59	98,22	0,96	0,11
août-08	10	5,14	5,29	3	7,26	88,13	1,33	0,84
sept.-08	15	5,1	4,64	3	14,63	36,59	3,77	0,84
oct.-08	8			2	4,79	94,44	1,08	0,55
nov.-08	13	4,89	4,75	3	7,91	37,63	1,53	0,38
déc.-08	12	6	5,56	5	17,56	58,15	1,42	0,48
févr.-09	10			3	25,2	70,83	1,45	0,45
avr.-09	6			0	0	38,71	1,46	0,71
mai-09	10			3	1,27	87,66	1,56	0,37
juin-09	20	5,14	4,77	4	17,81	12,95	3,01	0,49
juil.-09	22	5,07	4,86	4	15,8	74,8	2,8	0,36
août-09	20	4,67	4,43	4	19	51,8	2,53	0,49
sept.-09	24	4,47	4,81	4	25	7,9	2,79	0,44

Tableau 3 : Métriques descriptives de la structure des communautés et indices biotiques calculés à partir des relevés faunistiques effectués au droit de la station H/6T de février 2005 à nos jours. (N = richesse taxonomique, EQ = équitabilité.)

L'analyse de l'évolution temporelle de différentes métriques nous permet de constater que la présence de tendance évolutive distincte selon les métriques considérées. Si nous nous intéressons tout d'abord à l'évolution de la richesse taxonomique au travers l'étude du nombre de taxa (N) et de l'indice de Margalef (D), nous pouvons constater qu'aucune tendance évolutive homogène ne se dégage entre 2006 et 2009 (test de corrélation des Rang de Spearman : $R = 0,14$; $p = 0,38$ et $R = 0,29$; $p = 0,072$ pour N et D respectivement). Nous pouvons par ailleurs constater que ces métriques montrent une certaine stabilité entre 2005 et juillet 2007, seul le mois de juin 2006 présente des valeurs plus faibles. Durant cette période elles fluctuent entre 12 et 22 *taxa* pour N et 2,11 et 3,54 pour l'indice de Margalef, les *maxima* étant observés durant la période d'étiage 2006 qui se prolongea jusqu'en février 2007 ($18 < N < 22$ et $2,11 < D < 3,54$). Entre juillet 2007 et juin 2009 ces métriques présentent des valeurs plus faibles.

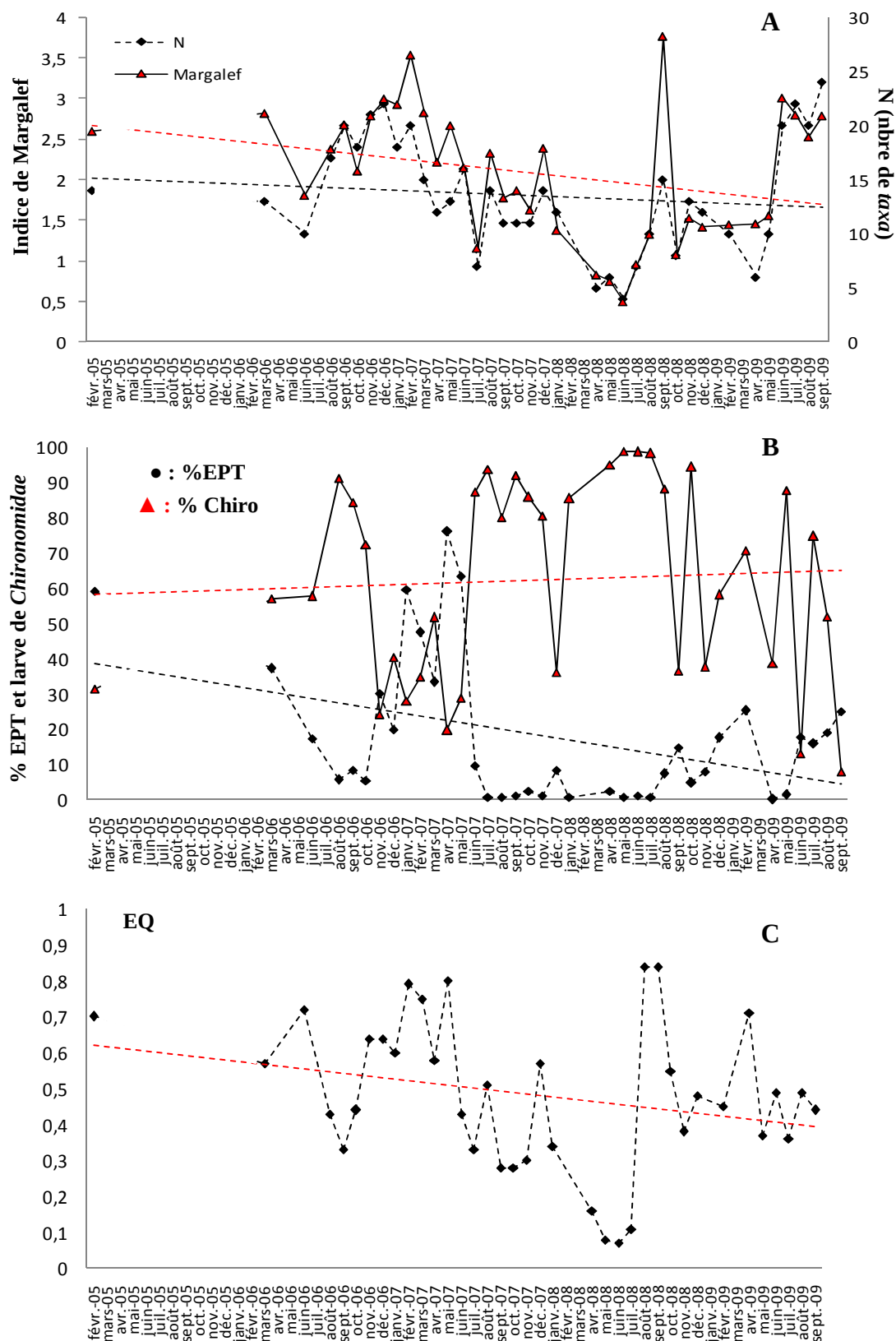


Fig.20 : Evolution temporelle des différentes métriques descriptives de la structure des communautés benthiques au droit de la station H/6T du réseau de suivi de Vale-Inco NC (A : évolution de la richesse taxonomique (N et indice de Margalef) ; B : évolution du % EPT et % de Chiro ; C : évolution de l'indice d'équitabilité (EQ)).

En effet, nous pouvons constater que le nombre de *taxa* (test LSD⁵, $p < 0,05$) et l'indice de Margalef (test U ; $p < 0,05$) présentent pour l'étiage 2007 ($N = 11,75 \pm 1,5$ et $D = 1,91 \pm 0,33$) des valeurs significativement plus faibles que celles calculées pour la période d'étiage 2006 ($N = 20,25 \pm 1,7$ et $D = 2,64 \pm 0,38$). Lors de l'étiage 2008 le nombre de *taxa* se maintient à un niveau significativement inférieur à celui de 2006 ($N = 12 \pm 2,9$; test LSD, $p < 0,05$). L'indice de Margalef calculé pour 2008 en moyenne plus faible que celui mesurée pour 2006, ne présente toutefois pas un degré de différence significatif avec ce dernier ($D = 1,95 \pm 1,22$; test U $p = 0,8$ respectivement). A partir de juin 2009, ces deux métriques présentent des valeurs similaires à celles observées lors de l'étiage 2006 ($N = 22 \pm 2,82$ et $D = 2,66 \pm 0,78$), aucune différence significative n'étant observée entre ces deux jeux de données (pour N : test LSD, $p = 0,38$ et pour D : test U ; $p = 0,81$).

Comme les métriques décrivant la richesse spécifique, l'indice d'équitabilité décrivant à la fois la richesse et la diversité de la population ne montre aucune évolution homogène significative entre février 2005 et septembre 2009 (test de corrélation de rang de Spearman : $R = 0,23$; $p = 0,15$). Si nous nous intéressons comme précédemment aux valeurs calculées pour l'indice d'équitabilité lors des différentes périodes d'étiage, nous pouvons en effet constater qu'aucune différence significative n'est observée entre ces dernières. Les valeurs mesurées lors de l'étiage 2006 ($E = 0,51 \pm 0,15$) étant similaire à celles mesurées lors de l'étiage 2007 ($E = 0,35 \pm 0,14$; test LSD, $p = 0,19$), l'étiage 2008 ($E = 0,56 \pm 0,19$; test LSD, $p = 0,38$) et l'étiage 2009 ($E = 0,46 \pm 0,03$; test LSD, $p = 0,64$). Si nous nous intéressons maintenant aux valeurs mesurées lors des différentes saisons humides (généralement janvier à avril), nous constatons que les valeurs mesurées pour les années 2005 et 2007 apparaissent également similaires ($E = 0,7$ et $0,68 \pm 0,1$ respectivement pour les années 2005 et 2007). En 2006, une légère chute de cette valeur fût observée ($E = 0,57$), la présence d'une seule valeur ne permet pas de déterminer statistiquement la significativité de cette chute). Nous pouvons toutefois constater lors de la saison humide 2008, une chute significative de cet indice au regard des valeurs mesurées en 2007 ($E = 0,25$, test t, $p < 0,05$). Lors de l'année 2009, la valeur prise par cet indice en février apparaît également inférieure à la valeur moyenne reportée ci-dessus pour l'année 2007 ($E = 0,45$, la présence d'une seule valeur ne permet pas de déterminer statistiquement le degré de significativité de la différence observée).

Nous pouvons observer la même tendance en observant l'évolution de l'abondance relative en larves d'Ephéméroptères et de Trichoptères entre 2005 et fin 2009. En effet, bien qu'aucune tendance homogène significative à la baisse ne soit observée pour cette métrique entre 2005 et fin 2009 (coefficient de corrélation de Spearman, $R = 0,28$; $p = 0,08$), une baisse significative de cette dernière a été observée, comme pour la diversité, lors de la saison humide 2008 (%EPT = 59,3% et $1,5 \pm 1,9\%$ respectivement en 2007 et 2008; test U, $p < 0,05$). Avant cette chute, des abondances similaires ont été observées en février 2005 et lors de la saison humide 2007 (%EPT = 59,3 % et

⁵ L'homogénéité des variances a été vérifiée à l'aide du test de Levene, un seuil de significativité de 5% a été retenu pour juger de la significativité du résultat obtenu. Le test de Kolmogorov-Smirnov nous a permis de tester la normalité du jeu de données. Si la normalité du jeu de données et l'homogénéité des variances ont été toutes deux vérifiées, un test paramétrique (test t ou sa variante LSD) a été utilisé pour tester la présence d'une différence entre deux jeux de données. Dans le cas contraire un test non paramétrique, test U de Mann-Whitney a été utilisé. Pour l'ensemble de ces tests un seuil de significativité à 5% a été retenu.

54,1 ± 18 % en 2005 et 2006 respectivement), seule une baisse de cette métrique avait été observée en mars 2006, où l'abondance relative en EPT ne représente plus que 37 %, le degré de significativité de cette baisse n'a pu être évalué du fait de la disponibilité d'une seule valeur en saison humide 2006. Par la suite, lors de la saison humide 2009, cette métrique est revenue à une valeur de 25 %, valeur supérieure à celle de la saison 2008, bien qu'encore faible au regard des valeurs mesurées en 2005 et 2007 pour cette saison. Les valeurs prises par cette métrique en saison sèche ne présentent aucune différence significative entre les années 2006 (%EPT = 15,6 ± 11,4%) et 2007 (%EPT = 3,2 ± 3,4% ; test U, p = 0,08), 2006 et 2008 (%EPT = 11,22 ± 5,89% ; test U, p = 0,38) et 2006 et 2009 (%EPT = 22 ± 4,24% ; test U, p = 0,64).

Bien qu'aucune tendance générale à la hausse significative ne se dégage pour la métrique abondance relative en larve de *Chironomidae* (Coefficient de corrélation de Spearman R= -0,09 ; p= 0,58), nous pouvons logiquement observer une évolution inverse à celle décrite ci-dessus pour la métrique abondance relative en EPT. En effet, nous pouvons voir que cette dernière présente les valeurs les plus faibles en février 2005 et saison humide 2007 (% Chiro = 31,54% et 33,5 ± 13,6% respectivement en février 2005 et saison humide 2007). Ces valeurs sont significativement plus faible que celles mesurées lors de la saison humide 2008 (% Chiro = 90,3 ± 6,8%, test U, p< 0,05). En février 2009 cette métrique présentait une valeur intermédiaire (% Chiro = 70,83%).

Au regard de cette première analyse il apparaît donc que les communautés benthiques du creek de la Baie Nord n'aient connu aucune évolution générale homogène de leur structure entre février 2005 et fin 2009. Néanmoins, l'analyse détaillée des évolutions saisonnières du degré de structuration de ces communautés, nous a permis de mettre en évidence certaines modifications. L'étude de l'évolution des métriques descriptives de la richesse des communautés nous a permis de constater que lors des années 2007 et 2008, une pression négative a généré lors des périodes d'étiage, période la plus propice au développement de cette faune, une chute significative de la richesse des communautés au regard de celle observée en 2006 pour la même période. En 2009, cette pression ne semble plus s'exercer, la richesse des communautés du creek présentant à l'étiage un état similaire à celui observé en 2006.

L'étude de l'évolution de la métrique descriptive de la diversité de la communauté et l'étude de l'évolution de l'abondance relative en larves d'Ephéméroptères-Trichoptères et *Chironomidae*, nous ont permis de constater que dès 2006 l'apparition d'une déstructuration des communautés en période d'étiage. Cette déstructuration s'estompe lors de la saison humide 2007, pour être à nouveau observée à partir de l'étiage 2007. Les communautés restent ensuite dans un état plus ou moins déstructurées.

Cette première analyse nous permet donc de mettre en évidence la présence à partir de 2006 de phases de déstructuration des communautés. Dans un premier temps ces déstructurations n'ont été observées qu'en période d'étiage (jusqu'en 2007), elles se sont ensuite maintenues en saison humide lors des années 2008 et 2009.

3.2.1.2 Etude de la structure des communautés au travers l'utilisation des indices biotiques :

Comme nous l'avons énoncé ci-dessus, deux indices biologiques basés sur les communautés benthiques ont été conçus : l'indice biologique de Nouvelle-Calédonie ou IBNC et l'indice biosédimentaire ou IBS. Le premier conçu à la fin des années 90, a pour objectif d'évaluer la qualité biologique d'un cours d'eau au regard des altérations organiques subies par ce dernier. Le deuxième, élaboré récemment et toujours en cours de validation, a pour objectif d'évaluer la qualité biologique d'un cours d'eau au regard des perturbations minérales qu'il subit.

En réponse aux prescriptions techniques annexées aux différents arrêtés autorisant l'exploitation des différentes installations classées du Projet, Vale Inco Nouvelle-Calédonie a procédé à l'évaluation des notes IBNC au droit de son réseau de suivi. Ce suivi était principalement destiné à suivre l'impact du rejet de l'effluent traité de la station d'épuration annexée à la base-vie du projet (*arrêté n°1228-2002/PS* du 25 septembre 2002 modifié par *l'arrêté n°541-2006/PS* du 6 juin 2006, *arrêté n°1467-2008/PS* du 9 octobre 2008), ainsi que l'impact du rejet des eaux de refroidissement de la centrale électrique au charbon de Prony Energies (*arrêté n°890-2007/PS* du 12 juillet 2007).

Outre cet indice, un indice biosédimentaire ou IBS a été mis au point par le même auteur et est en cours de validation. A titre indicatif, le calcul de ce dernier a été fait. L'ensemble des valeurs calculées sont reportées dans le tableau 3 ci-dessus.

Nous allons donc maintenant revenir au sein de ce paragraphe sur l'évolution des notes IBNC et IBS entre février 2005 et fin 2009.

Si nous nous intéressons tout d'abord à l'évolution de la note IBNC, nous pouvons constater en première analyse, qu'il n'apparaît se dégager aucune tendance évolutive générale des notes obtenues entre février 2005 et fin 2009 (Fig.21 ; Coefficient de corrélation des rangs de Spearman $R = 0,27$; $p = 0,15$). La qualité biologique du creek se maintient à un niveau bon à passable au regard des altérations organiques (note IBNC), seule une nette dégradation est observée en août et septembre 2009 où cette note nous indique une mauvaise qualité biologique des eaux (Fig.21).

Si, comme nous l'avons fait ci-dessus pour l'ensemble des métriques descriptives des communautés, nous nous intéressons maintenant à l'évolution saisonnière de cet indice, nous pouvons constater que lors des saisons d'étiage, la note IBNC obtenue ne présente aucune fluctuation de 2006 à 2008 et indique une qualité moyenne des eaux passable (Fig.21). En effet, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les notes obtenues en 2006 (IBNC = $5,24 \pm 0,37$) et celles obtenues en 2007 (IBNC = $5,31 \pm 0,46$, test LSD, $p = 0,83$) et en 2008 (IBNC = $5,33 \pm 0,58$, test LSD, $p = 0,80$). Comme énoncé ci-dessus, le début de la période d'étiage 2009 est caractérisé par une baisse significative de la note IBNC moyenne (IBNC = $4,57 \pm 0,14$; test U, $p < 0,05$) et indiquant une mauvaise qualité moyenne des eaux. Ce dernier résultat est intéressant, en effet, il apparaît au vu de cette note que lors du début de la saison d'étiage 2009 la qualité des eaux du creek présente une mauvaise qualité liée à une pollution organique. Or nous avons pu constater

au travers l'analyse de la richesse taxonomique que les conditions hydrologiques stables caractérisant cette période ont permis un retour à des valeurs élevées similaires à celles observées lors de l'étiage 2006. Il apparaît donc que les altérations organiques observées au travers des notes IBNC ne soient pas responsables de la chute du nombre de *taxa*, cette dernière étant à mettre en relation avec les mauvaises conditions hydrauliques.

En ce qui concerne la période humide, il est difficile de se prononcer sur le degré de significativité statistique de l'évolution observée pour cette métrique entre 2005 et 2009 au vu du faible nombre de données caractérisant chaque période (1 valeur en 2005, 2006 et 2008, aucune valeur pour 2009), seule l'année 2007 présentant un jeu de données conséquents. Précisons ici que les mauvaises conditions météo ayant caractérisé les saisons humides 2008 et 2009 sont à l'origine du manque de données (le faible nombre de *taxa* intervenant dans le calcul de la note (< 7) n'a pas permis de déterminer cette dernière). Nous pouvons toutefois constater que la note obtenue en février 2005 (IBNC = 6) indiquait une eau de bonne qualité biologique. Une telle qualité n'a pas été observée en 2006 où la seule mesure effectuée en saison humide indiquait une qualité passable (IBNC = 4,63), mais a été observée à nouveau en saison humide 2007 où la note calculée pour le mois de mars indiquait le retour à un état de bonne qualité de la masse d'eau (IBNC = 5,58), état également retrouvé en mai 2007. Notons par ailleurs que les notes obtenues pour les mois de janvier, février 2007 sont proches de la valeur seuil (IBNC= 5,5) entraînant le déclassement d'un état de bon à passable de la qualité biologique des eaux (IBNC= 5,5 et 5,44 respectivement au 7 février et 21 février 2007).

Au regard de l'évolution de cette métrique il apparaît donc qu'une altération organique ait affectée la qualité biologique du creek entre 2006 et 2009. Cette altération a déclassée la qualité de l'eau à un état « passable », seule la période d'étiage 2009 présentant une mauvaise qualité biologique de eaux au regard de cette note. Notons toutefois que les fluctuations observées pour la note IBNC, semblent nous indiquer que cette pression n'a pas été constante, des retours à un état de bonne qualité ayant été observés à plusieurs reprises.

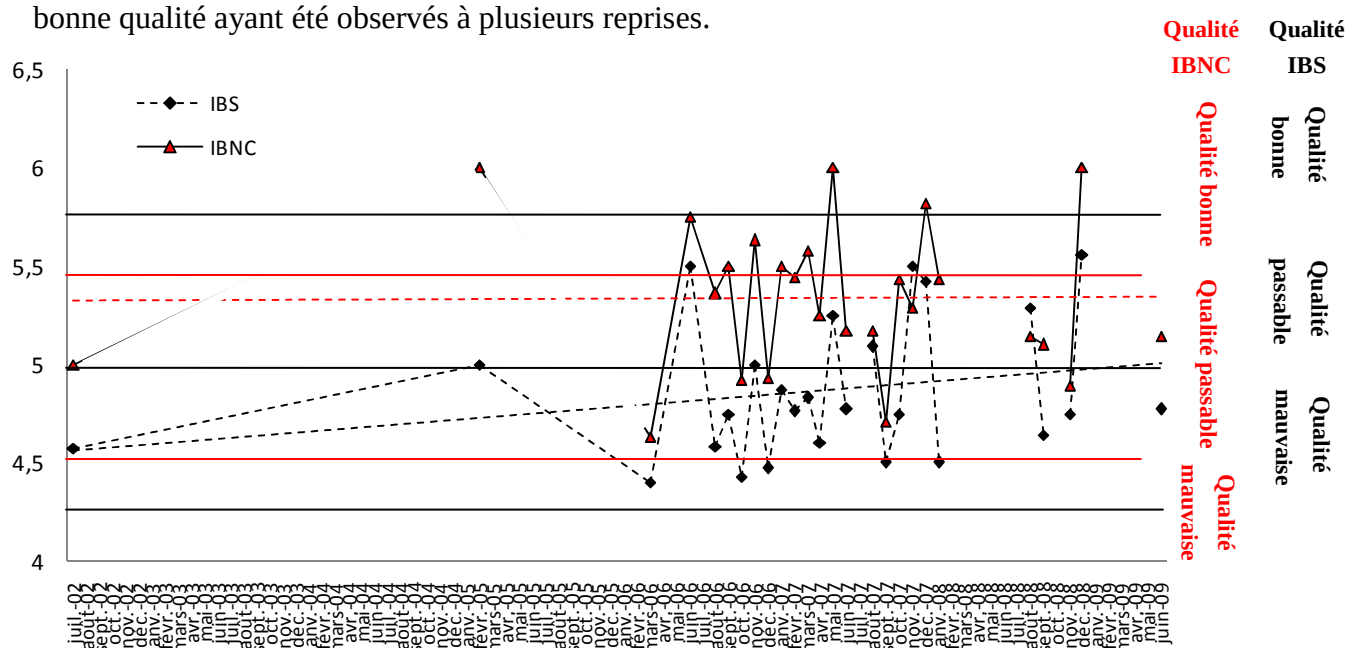


Fig.21 : Evolutions temporelles des notes IBNC et IBS calculés sur la base des relevés faunistiques collectés au droit de la station H/6Tdu réseau de suivi de Vale-Inco NC entre juillet 2002 et Septembre 2009.

Si nous intéressons maintenant à l'évolution de la note IBS au cours de la même période, nous pouvons constater comme pour les autres métriques qu'aucune évolution homogène significative n'a été constatée entre février 2005 et fin 2009. La qualité biologique des eaux se maintient dans un état passable à mauvais. De même, si nous intégrons à l'analyse la note calculée à partir des données faunistiques collectées en 2002 (coefficient de corrélation des rangs de Spearman $R = -0,16$; $p = 0,38$). L'analyse des fluctuations saisonnières de cette note, comme pour la note IBNC, ne montrent aucune évolution significative entre les saisons d'été 2006 ($IBS = 4,66 \pm 0,26$) et 2007 ($IBS = 5,04 \pm 0,49$; test LSD ; $p = 0,22$), 2006 et 2008 ($IBS = 4,98 \pm 0,50$, test LSD ; $p = 0,33$) et 2006 et 2009 ($IBS = 4,62 \pm 0,26$; test LSD ; $p = 0,9$). De même que pour la note IBNC, le faible nombre de valeurs calculées lors des différentes saisons humides pour la note IBS ne permet pas de se prononcer sur le degré de significativité statistique de l'évolution constatée. Nous pouvons néanmoins remarquer que cette dernière présente en février 2005 une valeur supérieure à celle calculée pour juillet 2002, la qualité biologique passant de mauvaise à passable. A partir de 2006, la qualité biologique au regard de cette note devient mauvaise, des états de qualité passable étant sporadiquement observés entre 2006 et fin 2009 (juin et novembre 2006 ; mai, août, novembre et décembre 2007 ; août et décembre 2008).

Au regard de cette note il semblerait donc qu'une pression d'origine minérale ait eu un impact négatif plus ou moins important sur le degré de structuration des communautés du creek entre 2002 et fin 2009.

3.2.1.3 Conclusion :

En résumé, l'analyse détaillée des évolutions des différentes métriques descriptives du degré de structuration des communautés et des deux indices biologiques utilisés (IBNC et IBS), nous a permis de constater l'absence de tendances évolutives homogènes sur la période considérée. Toutefois une analyse interannuelle des données collectées lors de la saison d'été et saison humide pour les différentes métriques descriptives du degré de structuration des communautés nous a permis de constater la présence de plusieurs périodes de déstructuration. Les *patterns* différents observés lors de ces événements nous conduisent à supposer la présence de plusieurs pressions négatives successives et/ou cumulées sur les communautés. Nous constatons en effet, que la pression exercée dès l'été 2006 entraîne un degré de déstructuration de la communauté uniquement visible au niveau du degré de diversité des communautés (E) et de sa composition faunistique (chute de l'abondance relative en larves d'Ephéméroptères et Trichoptères et augmentation de l'abondance relative en larves de *Chironomidae*), la richesse taxonomique restant élevée. Une déstructuration similaire a par la suite été observée lors de l'été 2009. Lors des étés 2007 et 2008, nous pouvons constater qu'une pression négative différente a conduit à un degré de déstructuration beaucoup plus important, une chute de la richesse taxonomique ayant également été enregistrée.

L'analyse de la note IBNC obtenue au cours de cette même période nous indique qu'une altération de type organique semble avoir légèrement affectée les communautés du creek entre 2002 et début 2009, le degré d'altération s'intensifiant lors de l'étiage 2009. Notons également que le degré d'altération organique semble s'amenuiser lors de la saison humide 2007 (notes IBNC voisines ou supérieures à 5,5). Notons que lors des saisons humides 2008 et 2009, la chute de la richesse taxonomique et les faibles nombres de *taxa* indicateurs n'ont permis l'obtention que de quelques notes.

L'analyse de l'évolution de la note IBS nous indique que parallèlement à une altération de type organique, une altération de type minérale apparaît au regard de cet indice avoir altérée la qualité biologique du creek, cette dernière fluctuant de mauvaise à passable entre 2002 et fin 2009.

Si l'analyse de ces différentes métriques et outils de bioindication nous permettent de constater la présence de déstructuration au sein des communautés, et d'inférer le type d'altération subie (IBNC et IBS conçus respectivement pour détecter les altérations organiques et minérales), ils ne nous en indiquent pas l'origine et la cause de ces dernières. Ceci ne peut être fait en toute objectivité qu'au travers une analyse intégrative à la fois des données faunistiques entrant dans le calcul des différentes métriques étudiées ci-dessus et des données descriptives des différents paramètres abiotiques et biotiques du milieu (physico-chimie).

3.2.2 INTERPRETATION DES DONNEES FAUNISTIQUES COLLECTEES AU DROIT DU CREEK DE LA BAIE NORD, AU REGARD DES DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES : APPROCHE INTEGREE.

Afin de procéder à l'approche intégrée des données physico-chimiques et faunistiques collectées lors du suivi mis en place par Vale Inco Nouvelle-Calédonie au droit du creek de la Baie Nord, le jeu de données collecté au droit de la station H/6T a été retenu. En effet, cette station présente la matrice de métriques abiotiques/métrique biologiques la plus complète : la qualité physico-chimique des eaux au droit de cette station ayant été suivie de manière continue depuis 2000, la faune benthique y étant suivie depuis 2002 de manière sporadique et depuis février 2005 ; de façon trimestrielle dans un premier temps (2005 et début 2006), puis de façon mensuelle (d'août 2006 à fin 2009).

Parmi l'ensemble des données faunistiques collectées et analysées ci-dessus, les différentes dates retenues et intégrées à notre analyse sont synthétisées dans le tableau 4 ci-dessous. Ces dates correspondent aux différentes dates au niveau desquelles des relevés physico-chimiques ont été effectués.

Afin de caractériser et d'interpréter les relations existantes entre le jeu de données faunistiques présenté dans le tableau ci-dessous et les données physico-chimiques descriptives du biotope, une analyse factorielle multiple (AFMULT) a été menée. Cette analyse permet de caractériser la présence de structures communes à deux tableaux de données se reportant aux

mêmes individus (ici point de mesure), définis par des variables différentes (ici variables faunistiques et physico-chimiques).

Concernant les variables physico-chimiques intégrées à cette analyse, précisons que pour la variable débit et hauteur d'eau les données utilisées sont celles acquises de 2006 à 2007 au droit de la station 6-deb-07, seule station pour laquelle nous disposons d'un jeu de données complet. Ce type de données étant des données linéaires évoluant de manière homogène sur l'ensemble du bassin versant en l'absence de perturbation anthropique localisée, les évolutions constatées au niveau de 6-deb-07 retranscrivent celles survenues au niveau de la station H/6-T. De même les concentrations en PO_4 mesurées au niveau de la station 6-Q ont été intégrées afin de dégager un impact ou non de ces dernières sur les communautés de la zone aval du creek. Rappelons en effet, que bien souvent en aval d'une source d'altération, les mesures physico-chimiques ne permettent pas de détecter de modification notable de la composition du milieu, alors qu'au contraire les données biologiques permettent de visualiser la présence d'une perturbation (cas fréquent dans l'étude des rejets de stations d'épuration).

Date	N	IBNC	IBS	EPT	% Chiro	Margalef	Shannon	EQ
Février 2005	14	6	5	5	31,54	2,6	2,66	0,7
Février 2006	13	4,63	4,4	4	57,14	2,82	2,11	0,57
Aout 2006	17	5,36	4,58	5	91,15	2,38	1,78	0,43
Mars 2007	15	5,58	4,83	7	51,77	2,83	2,96	0,75
Octobre 2007	11	5,43	4,75	3	85,85	1,87	0,99	0,28
Janvier 2008	12	5,43	4,5	3	85,45	1,38	1,23	0,34
16 Avril 2008	5			2	95,16	0,83	0,372	0,16
Juin 2008	4			1	98,7	0,5	0,14	0,07
Juillet 2008	7			3	98,22	0,96	0,31	0,11
Septembre 2008	15	5,1	4,64	3	36,59	3,77	2,8	0,84
Octobre 2008	8			2	94,44	1,08	2,16	0,55
Novembre 2008	13	4,89	4,75	3	37,63	1,53	1,28	0,38
Décembre 2008	12	6	5,56	5	58,15	1,42	1,75	0,48
Février 2009	10			3	70,83	1,45	1,51	0,45
06 avril 2009	6			0	38,71	1,46	1,83	0,71
13 Mai 2009	10			3	87,66	1,56	1,38	0,37
Juin 2009	20	5,14	4,77	4	12,95	3,01	2,15	0,49
Juillet 2009	22	5,07	4,86	4	74,8	2,8	1,42	0,36
Aout 2009	20	4,67	4,43	4	51,8	2,53	1,94	0,49
Septembre 2009	24	4,47	4,81	4	7,9	2,79	1,73	0,44

Tableau 4 : Métriques descriptives de la structure des communautés et indices biotiques calculés à partir des relevés faunistiques effectués au droit de la station H/6-T de février 2005 à nos jours. (N = richesse taxonomique, EQ = équitabilité.)

La projection des données dans le plan défini par les deux premiers axes de l'analyse, en expliquant plus de 50% de la variabilité totale, retranscrit bien la structure générale des différents tableaux de données (Fig. 21b).

Sur cette figure, la projection des individus engendrée par le premier groupe de variables (physico-chimiques) couplée à la projection des individus définie par le second groupe de variables (faunistique), confirme graphiquement l'existence d'une structure commune aux deux jeux de

données. Nous pouvons en effet constater que tant au regard des variables physico-chimiques que biologiques, trois groupes distincts de points de mesure peuvent être discriminés le long de l'axe 1 de l'analyse, axe expliquant plus de 35% de la variabilité totale :

- Un premier groupe localisé à gauche du plan, contenant la projection des points de mesures résultant des analyses menées sur les deux groupes de variables des individus suivants : février 2005, février et août 2006, mars 2007, septembre 2008, août et septembre 2009, caractérisés par de faibles débits et fortes concentrations en

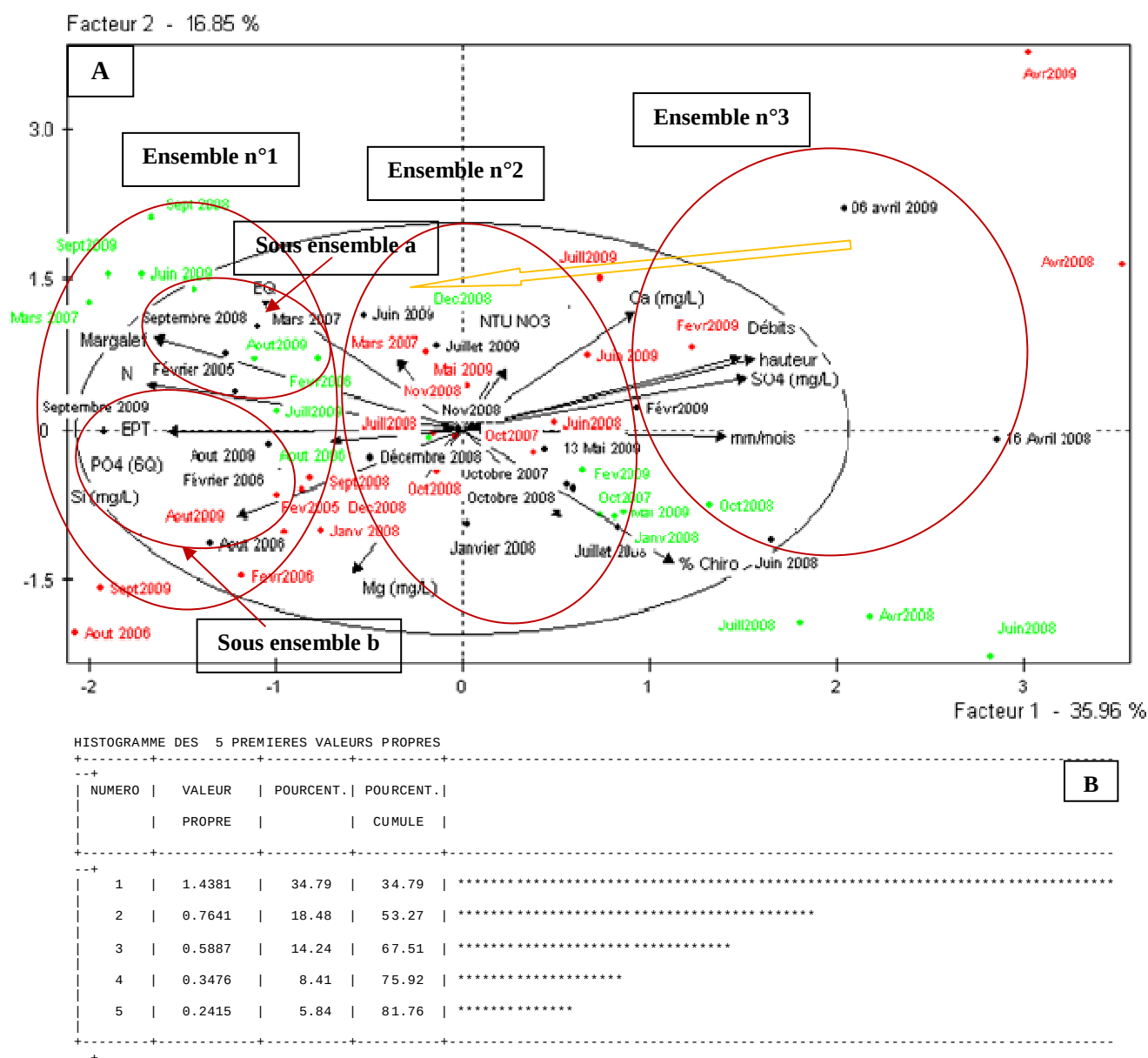


Fig. 21 : A : Projection sur le plan défini par les deux premiers axes de l'analyse des résultats de l'AFM menée sur les différentes variables biologiques (en vert) et physico-chimiques (en rouge) relatives aux différents points de mesures effectués au niveau de la station H/6T du réseau de suivi de la qualité physico-chimique du creek de la Baie Nord de VALE-INCO NC, entre février 2005 et décembre 2009 (en vert la projection des résultats de l'analyse menée sur les variables biologiques, en rouge la projection des résultats des analyses menées sur les variables physico-chimiques – en bleu projection des barycentres résultant de l'analyse mutuelle des deux jeux de variables).

B : Histogramme des valeurs propres des 5 premiers axes de l'analyse.

- éléments minéraux et nutriments phosphatés, ainsi que par une richesse taxonomique (N, Margalef), Equitabilité (EQ) et abondance en EPT élevés ;
- Un second ensemble localisé au centre du plan, contenant la projection des points de mesures résultant des analyses menées sur les deux groupes de variables des individus suivants : octobre 2007, janvier, juillet, octobre et novembre et décembre 2008, ainsi que mai, juin et juillet 2009. Ces points sont caractérisés au regard de l'ensemble des valeurs mesurées, par des débits et hauteurs d'eau moyennes, ainsi que des concentrations moyennes en éléments minéraux et nutriments. Ils présentent également des valeurs moyennes pour l'ensemble des métriques descriptives des communautés ;
 - Un troisième ensemble localisé à droite du plan et contenant la projection des points de mesures résultant des analyses menées sur les deux groupes de variables des individus suivants : avril et juin 2008, février et avril 2009, caractérisés par de forts débits, hauteurs d'eau et concentrations en SO_4 et Ca et une abondance relative en larves de *Chironomidae* élevée. Ces points sont également caractérisés par de faibles concentrations en éléments minéraux et nutriments phosphatés, ainsi que par de faibles richesse taxonomique et indice d'équitabilité.

Au regard de ces premiers résultats nous pouvons constater que les oppositions décrites ci-dessus pour les métriques physico-chimiques (débits et hauteur d'eau vs concentrations en éléments minéraux et nutriments phosphatés) est bien retranscrite au sein de ce nouveau jeu de données (cf. Fig. 21 : opposition le long de l'axe 1 des métriques décrivant la physico-chimie de la station – le degré de corrélation entre ces variables et ce facteur de l'analyse est de 86%). D'autre part, l'AFM nous permet de constater que les métriques descriptives du bon ou mauvais état de structuration des communautés benthiques s'opposent selon ce même axe (cf. Fig. 21 : opposition des métriques EQ, Margalef, N et EPT vs % de larves de *Chironomidae* - le degré de corrélation entre ces variables et ce facteur de l'analyse est de 87%), les métriques décrivant un état de déstructuration de communautés covariant de manière positive avec les variables descriptives de l'état hydraulique du creek (débits, hauteurs d'eau et cumul des précipitations). A l'inverse les métriques descriptives d'un état d'équilibre des communautés (N, Margalef, Equitabilité, EPT) covariant de manière négative avec ces dernières.

Cette analyse nous permet également de constater qu'au sein de l'ensemble n°1 identifié ci-dessus, la structuration des données régie par les métriques physico-chimiques le long de l'axe 2 (le degré de corrélation entre ces variables et ce facteur de l'analyse est de 69%) s'oppose à celle régie par les variables biologiques (le degré de corrélation entre ces variables et ce facteur de l'analyse est de 69%). En effet nous pouvons constater au sein de l'ensemble n°1 que l'augmentation des concentrations en éléments minéraux et nutriments phosphatés induit une diminution de l'équitabilité et une augmentation du % de larves de *Chironomidae*, conduisant à la répartition des individus en deux sous ensembles. Ces derniers sont :

- Le sous ensemble a composé des points de mesure réalisés en février 2005, mars 2007 et septembre 2008 et caractérisés par des métriques faunistiques élevées et des concentrations en éléments minéraux et nutriments phosphatés moyennes ;
- Le sous ensemble b composé des points de mesure réalisés en février 2006, août et septembre 2009 et caractérisés par des concentrations en éléments minéraux et nutriments phosphatés élevées.

En bref, cette analyse nous permet donc de constater que la structure des communautés benthiques du creek de la Baie Nord au droit de la station 6T a été influencée entre février 2005 et décembre 2009 par deux grands types de variables :

- En premier lieu par les variables climatiques régissant la stabilité hydraulique du creek ;
- Et en période de stabilité hydraulique, les concentrations en éléments minéraux et nutriments.

Si nous revenons maintenant de manière chronologique sur l'évolution du degré de structuration des communautés benthiques entre février 2005 et septembre 2009 mise en évidence précédemment au travers l'analyse des métriques descriptives faunistiques (Fig.20), nous pouvons constater :

- Que lors de l'étiage 2006 (Août 2006), la déstructuration mise en évidence par l'indice de diversité (E), et l'augmentation du % de larves de *Chironomidae* ($E = 0,57$ et $0,43$ et %Chiro = 57 et 91 %, respectivement en février et août 2006), est au vu de la distribution graphique de cet individu au sein du plan de l'AFM, corrélée à des concentrations élevées en éléments minéraux ([Si] et [Mg]). En effet, nous pouvons constater que les concentrations en Phosphores à partir desquelles on peut déduire les concentrations en PO_4 , étaient inférieures aux limites de détection des appareils de mesures (0,2 mg/L). Notons que nous ne disposons pas pour cette période de mesures des concentrations en nutriments organiques azotés (NO_3) ;
- Mars 2007 est marqué par un retour à un bon état de structuration de la communauté benthique, similaire à celui observé en février 2005 ($N = 15$, $D = 2,83$ et $E = 0,75$). L'AFM et la répartition de ce point dans le sous-ensemble a de l'ensemble 1 décrit ci-dessus, nous permet de constater que ces points de mesure sont caractérisés par des conditions hydrauliques stables (faibles débits cumul des précipitations et hauteurs d'eau) et des concentrations moyennes en éléments minéraux et nutriments phosphatés ;
- A partir d'Octobre 2007, la chute de la richesse taxonomique et de l'indice d'équitabilité constatée précédemment, chute marquant le début d'une phase de déstructuration des communautés observée jusqu'en juillet 2008, apparaît liée au vu de la répartition graphique de ces points au sein de l'ensemble 2, à une augmentation des

hauteurs d'eau, cumul des précipitations et débits. En effet, nous pouvons observer que la projection issue du traitement de la matrice de données physico-chimiques des points de mesure réalisés en octobre 2007 et juillet 2008 se décalent vers la partie droite du plan caractérisée par de fortes valeurs pour l'ensemble des métriques descriptives du régime hydraulique du creek. Pour janvier 2008, nous pouvons voir que malgré un retour de conditions hydrauliques plus clémentes (projection du point de mesure issue du traitement de la matrice physico-chimique repasse dans la partie gauche du plan définie par des conditions hydrauliques clémentes), la projection du barycentre de cet individu se maintient dans l'ensemble n°2 caractérisé par des communautés présentant un début de déstructuration. Il semblerait qu'une pression autre vienne perturber la restructuration des communautés ;

- En septembre 2008, le retour à un bon état de structuration de la communauté (N = 15, D = 3,77 et E = 0,85), constaté précédemment apparaît au vu de notre analyse lié au retour de conditions hydrauliques stables avec l'entrée en saison sèche. Ce point est également caractérisé par des concentrations en éléments minéraux et nutriments phosphatés moyennes ;
- L'épisode de déstructuration de la communauté observé au mois d'octobre 2008 (N = 8, D = 1,08 et E = 0,55, %Chiro = 98%) apparaît lié au vu du déplacement de ce point vers la droite du plan à une augmentation des précipitations durant le mois précédent, ayant entraîné une forte augmentation de débit (0,06 vs 0,2 m³/s respectivement en septembre et octobre 2008). Notons toutefois que cet épisode pluvieux apparaît plus modéré qu'en octobre 2007. La présence ce mois là de fortes concentrations en PO₄ en amont au niveau de la station F/6-Q ([PO₄] = 1,3 mg/L), apparaît venir se superposer aux précipitations dans le processus de déstructuration observée ;
- Aux mois de Novembre et Décembre 2008, une restructuration des communautés semble s'amorcée au regard de l'augmentation de la richesse taxonomique (N= 13 et 12 et D = 1,53 et 1,42 respectivement au mois de novembre et décembre) et de la diversité (E = 0,38 et 0,48). Le maintien à un état stable des conditions hydrauliques (débits ≈ 0,1 m³/s) semble avoir favorisé ce processus. Notons par ailleurs que le mois de décembre apparaît également affecté par de fortes concentrations en PO₄ en amont au niveau de la station F/6-Q ([PO₄] = 1 mg/L). Ces concentrations font suite à une période de faibles teneurs ([PO₄] = 1 mg/L en novembre). Le maintien de la communauté benthique à un état stable relativement à l'état du mois précédent, semble nous confirmer que la seule augmentation des concentrations en PO₄ ne peut à elle seule expliquer la perte de diversité et forte déstructuration observée en octobre, le rôle déstructurant complémentaire des fortes variations de débits apparaît donc se confirmer ;
- Le nouvel épisode de déstructuration observé début 2009 (chute de la richesse taxonomique (N = 10, D = 1,45), de la diversité (E = 0,45) et une augmentation du %

de larves de *Chironomidae* (70,8 %)), apparaît au vu de notre analyse s'expliquer par la reprise des précipitations du début d'année 2009 (glissement de la projection du point de mesure dans la partie droite du plan de l'analyse - 308 mm le mois précédent la mesure).

- Au mois d'avril, la déstructuration importante observée au sein de la communauté, similaire à celle observée en avril 2008 pour des cumuls de précipitations beaucoup plus importants, est à relier au déversement accidentel d'acide dans le creek survenu le 01/04/09 au niveau du site de l'usine, comme en témoignent les fortes teneurs en Ca mesurées, concentrations résultant des ajouts de calcaire effectués pour neutralisation de l'acidité suite à l'incident ⁶ ;
- La restructuration qui suivit cet incident (flèche en orange sur la Fig. 20), apparaît au regard de notre analyse s'être déroulée de manière similaire à celle observée en 2008 suite à la phase de précipitations abondantes et intense ayant marquée le début de cette année. En effet, nous pouvons constater que les points de mesure réalisés en mai, juin et juillet 2009 se distribuent au sein de l'ensemble n°2 défini ci-dessus dans le plan de projection des résultats de l'AFM, ensemble regroupant les points de mesures caractérisés par des valeurs moyennes pour l'ensemble des métriques intégrées à l'analyse, valeurs synonymes de phase de transition. Nous pouvons en effet constater que dès la fin du mois de juin 2009, sous l'effet conjugué du temps et du régime clément des précipitations, nous pouvons observer le retour de la communauté à un état de structuration relativement bon au regard de la richesse taxonomique ($N = 20$, $D = 3,01$), le degré de diversité de cette dernière restant relativement moyen ($E = 0,49$). Il apparaît donc que 3 à 4 mois après l'incident, les conditions hydrologiques clémentes de la saison fraîche 2009 aient permis un retour à un état de structuration relativement satisfaisant de la communauté ;
- Lors de la fin d'année 2009, nous avons vu que la communauté benthique du creek de la Baie Nord voyait sa structure se maintenir en l'état malgré le retour à des conditions hydrologiques favorables à son développement. En effet, nous avons observé un maintien de la richesse taxonomique à un niveau élevée ($20 < N < 24$ et $2,5 < D < 3$), le degré de diversité se maintenant par contre à un niveau moyen ($0,36 < E < 0,49$). La distribution graphique des points de mesure réalisés au mois d'août et septembre 2009 au sein du sous ensemble b de l'ensemble n°1 identifié par l'AFM ci-dessus, indique que les fortes concentrations en éléments minéraux dissous et nutriments phosphatés en amont contribuent au maintien du degré de déstructuration de la communauté.

En résumé, nous pouvons donc constater au regard de nos analyses que l'évolution des communautés benthiques durant la phase de construction du Projet de Vale Inco Nouvelle-

⁶ Nous ne signifiions pas ici que les concentrations en Ca sont à l'origine de la déstructuration de la communauté, elles servent juste de signature permettant d'identifier l'évènement, les concentrations en SO₄ étant revenue à cette date similaires à celles observées par période de pluies abondantes.

Calédonie, a été marquée par de fortes déstructurations. Nos analyses montrent que plusieurs sources d'altérations ont été à l'origine de ces déstructurations.

Tout d'abords, le régime des précipitations connu pour être à l'origine de phénomènes déstructurant des communautés benthiques apparaît ici comme un des principaux facteurs ayant exercé une pression négative sur la structure des communautés. Nous pouvons en effet voir au travers nos analyses, que les épisodes pluvieux intenses et abondants qui ont marqués la période s'étalant de septembre 2007 à Avril 2008 (cumuls mensuels de septembre 2007 et mars 2008 (mois précédents les relevés d'Octobre 2007 et Avril 2008) : 859 mm: 1196 mm). Ce phénomène a également été relevé lors de la saison des pluies 2009, où la communauté benthique présentait un état de déstructuration en février 2009, suite à la reprise des précipitations (308 mm de pluie sur le mois précédent le relevé). En octobre 2008, une période pluvieuse de moindre importance (267 mm de pluie le mois précédent le relevé), mais ayant entraîné une augmentation de débit d'un facteur 3, apparaît également jouer un rôle dans la déstructuration observée au sein de la communauté benthique.

Une fois ce phénomène naturel identifié et isolé, notre analyse a permis de mettre en évidence l'existence de facteurs d'altération secondaires pouvant être liés au chantier de construction. En effet, pour les mois caractérisés par des conditions hydrologiques plus stables, les degrés de concentrations en éléments minéraux et nutriments phosphatés apparaissent régir l'état de structuration de la communauté. Nous pouvons ainsi constater une déstructuration de la communauté lors des mois de février et août 2006 qui apparaît liée aux fortes concentrations en Mg et Si caractérisant cette période. Rappelons que lors de l'étude de l'évolution des concentrations en éléments minéraux au sein du Bassin versant du creek de la Baie Nord, nous avons pu constater une augmentation significative de ces concentrations à partir de 2006 au droit des stations F/6Q et B/6H localisées sur les cours moyens des creeks, phénomène pouvant être lié à la reprise et intensification des travaux de terrassement du site de la centrale et du port. La rupture d'une digue au niveau d'un des bassins de sédimentation en amont du creek, peut être impliquée dans cette augmentation, rappelons toutefois qu'une augmentation similaire des concentrations en éléments minéraux dissous a été observée au niveau du cours moyen du principal affluent du creek (station B/6S), dénotant du caractère plus général de l'amplification des phénomènes de lessivage et d'érosion.

Notons également que le rôle des concentrations en nutriment azoté n'a pu être approché au travers des mesures physico-chimiques effectuées. Les relevés fournis ne comportant aucun point de mesure pour ce paramètre pour les mois de février et août 2006.

De même, pour les mois d'octobre et décembre 2008, ainsi que septembre 2009, nous avons pu constater que les fortes concentrations en PO_4 mesurées sur la partie amont du creek (station F/6Q ; $[PO_4] = 1,3 ; 1$ et $4,4$ mg/L respectivement en octobre, décembre 2008 et septembre 2009), étaient liées à une déstructuration des communautés. A ces dates, les communautés benthiques présentaient en effet un faible indice d'équitabilité et un fort pourcentage de larve de *Chironomidae*, synonyme de déséquilibre. Nous avons vu lors de l'étude de l'évolution des concentrations en nutriments, que le démarrage de la centrale de Prony et le rejet des eaux de refroidissement de cette

dernière au sein du creek, avait généré une augmentation des concentrations en PO_4 au niveau de la station F/6-Q, lors des saisons d'été 2008 et 2009, lorsque le débit du creek n'était plus suffisant pour assurer une bonne dilution des eaux. Cette augmentation des concentrations a semble t-il entraîné une augmentation de la croissance algale au sein du creek⁷, se traduisant notamment par le développement d'un épais biofilm sur les substrats immergés sur l'ensemble du linéaire aval. Cette altération phosphatée qui ne fût pas détectée au travers des mesures physico-chimiques effectuées au droit de la station H/6T semble toutefois avoir affectée la communauté benthique.

3.2.2.4 Analyse de l'évolution de l'Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie et de l'Indice Biosédimentaire durant la phase de construction du Projet Vale Inco Nouvelle-Calédonie

Nous allons donc maintenant revenir au sein de ce paragraphe sur les notes IBNC et IBS obtenues et analyser l'évolution de ces dernières au regard des données physico-chimiques acquises en parallèle. Pour ce faire comme précédemment nous allons procéder à une analyse factorielle multiple afin de traiter simultanément la matrice contenant les variables physico-chimiques et la matrice contenant les métriques faunistiques (indices biotiques ici), afin d'étudier l'existence d'une covariation des structure des deux jeux de données.

La projection de l'ensemble des modalités dans le plan défini par les deux premiers axes de notre analyse représente plus de 50% de la variabilité, retranscrivant ainsi de manière satisfaisante la structure des deux jeux de données (Fig.22c).

Au regard de la projection des différentes variables sur le plan retenu, nous pouvons tout d'abord constater que nous retrouvons l'opposition des deux grands groupes de variables physico-chimiques mise en évidence précédemment au sein de ce rapport (variables descriptives du régime hydraulique et variables descriptives des concentrations en éléments minéraux et nutriments phosphatés). Nous pouvons également constater une opposition des métriques biologiques IBNC et IBS et des métriques physico-chimiques concentrations en éléments minéraux et nutriments phosphatés le long de l'axe 1 de l'analyse. Le long de cet axe une covariation positive est également observée entre ces métriques biologiques et les métriques descriptives du régime hydraulique du creek. Précisons que ces deux groupes de variables présentent un fort degré de corrélation avec cet axe (coefficient de corrélation entre groupes de variables et axe de l'analyse : 0,71 et 0,80 respectivement pour le groupe 1 et 2).

Le long de l'axe 2 nous constatons au contraire une opposition des métriques biologiques et des métriques descriptives du régime hydraulique du creek, alors que ces mêmes métriques covarient de manière positive avec les concentrations en éléments minéraux et phosphatés (coefficient de corrélation entre groupes de variables et axe de l'analyse : 0,77 et 0,58 respectivement pour le groupe 1 et 2). Précisons enfin que la covariation négative le long de l'axe 1

⁷ L'augmentation de la turbidité observée pour ces mois là, exempt de phénomènes pluvieux, va dans le sens d'une augmentation de la biomasse algale pélagique et benthique.

de la note IBNC et des concentrations en nutriments phosphatés nous montre que cet indice répond de manière satisfaisante aux pollutions organiques. La covariation positive entre les concentrations en nitrates et cet indice, s'explique du fait des faibles teneurs naturelles en nitrates du milieu

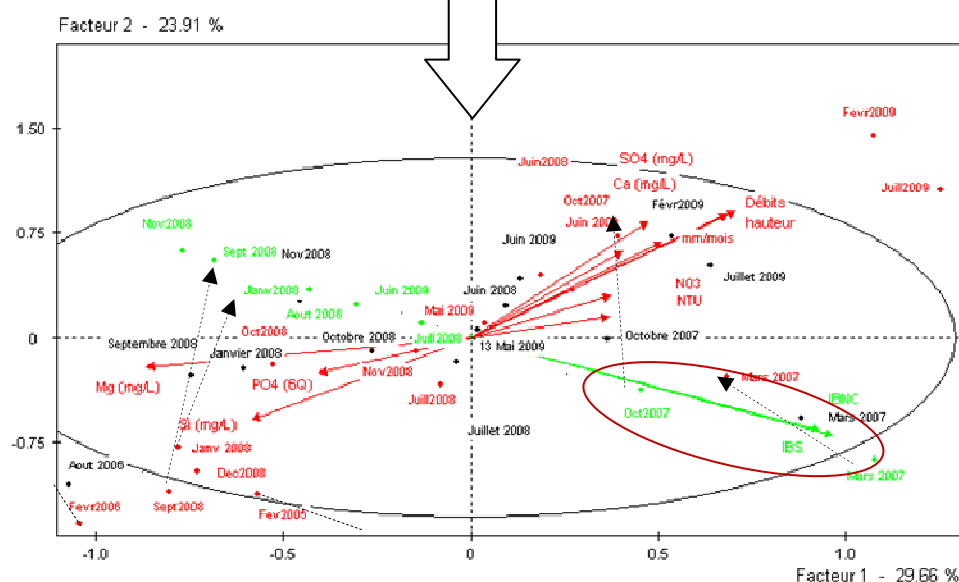
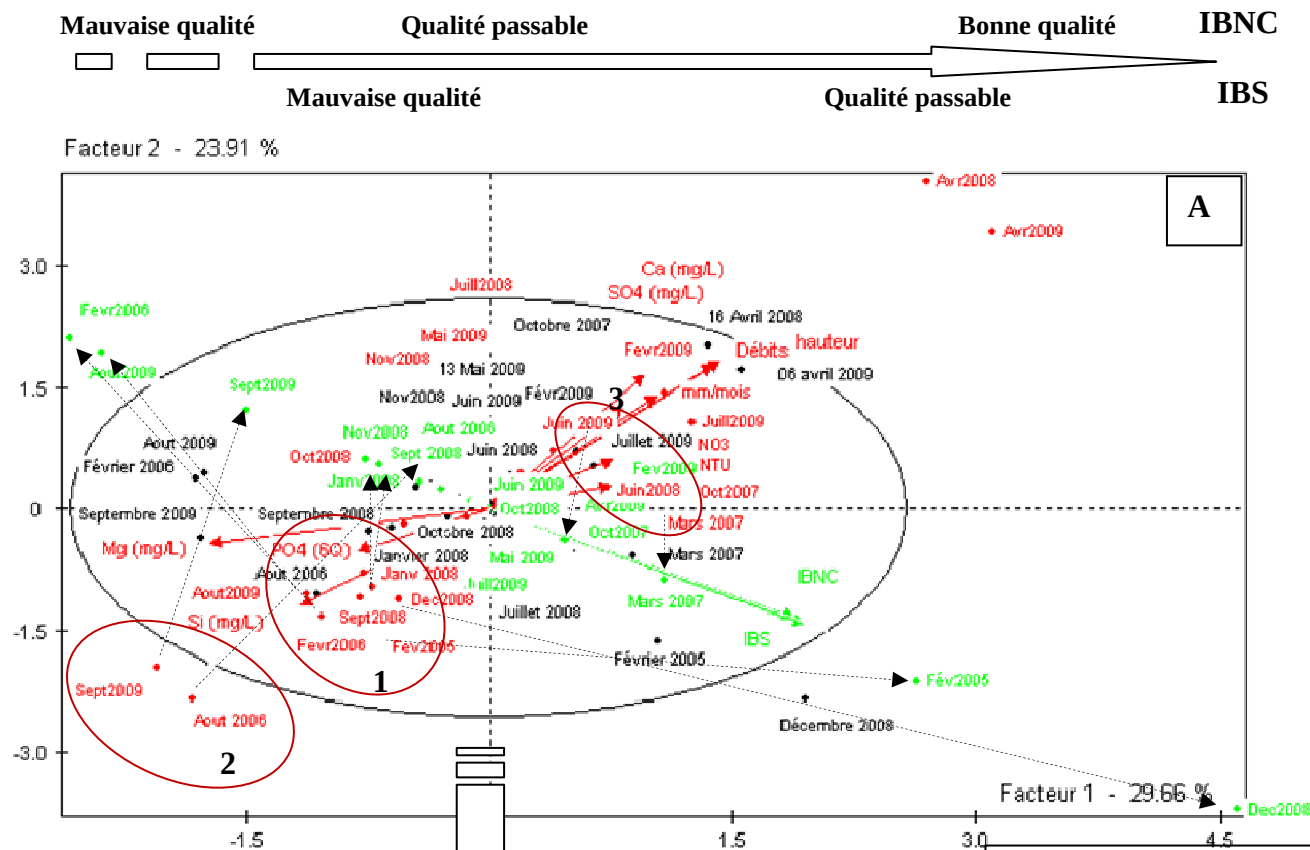


Fig. 22 : A : Projection sur le plan défini par les deux premiers axes de l'analyse des résultats de l'AFM menée sur les différentes variables biologiques (en vert) et physico-chimiques (en rouge) relatives aux différents points de mesures effectués au niveau de la station H/6T du réseau de suivi de la qualité physico-chimique du creek de la Baie Nord de VALE-INCO NC, entre février 2005 et décembre 2009 (en vert la projection des résultats de l'analyse menée sur les variables biologiques IBNC et IBS, en rouge la projection des résultats des analyses menées sur les variables physico-chimiques – en noir projection des barycentres résultant de l'analyse mutuelle des deux jeux de variables). B : Histogramme des valeurs propres des 5 premiers axes de l'analyse.

HISTOGRAMME DES 5 PREMIERES VALEURS PROPRES

-----+-----+-----+-----+-----				
NUMERO	VALEUR	POURCENT .	POURCENT .	B
	PROPRE		CUMULE	
-----+-----+-----+-----+-----				
1	1.1320	29.66	29.66	*****
2	0.9127	23.91	53.57	*****
3	0.5527	14.48	68.04	*****
4	0.3887	10.18	78.23	*****
5	0.2867	7.51	85.74	*****

Nous reviendrons plus loin sur ce point. De même la covariation négative le long du même axe de la note IBS et des concentrations en éléments minéraux prises comme traceurs du degré d'érosion et de lessivage du bassin versant en l'absence de variation visible des concentrations en MES au sein du jeu de données fourni, semble nous indiquer que cet indice répond également de manière satisfaisante à l'objectif qui lui a été fixé.

Si nous nous intéressons maintenant à la projection des individus au sein du plan défini par les deux premiers axes de l'analyse, les résultats obtenus, notamment le faible coefficient de corrélation vectoriel calculé entre les deux matrices de l'analyse ($R_v = 0,08$), nous montrent que les structures des données physico-chimiques et biologiques projetées sur le plan représenté ci-dessous, présentent une faible structure commune. En effet, si nous nous attardons sur les différentes projections graphiques issues du traitement des différentes matrices de données, nous pouvons constater que les points de mesures effectués en février 2005 et février 2006, janvier, septembre et décembre 2008, ainsi qu'août 2009 voient leur projection issue du traitement de la matrice physico-chimique former un seul et même groupe (ensemble 1 Fig.22). Leur projection issue du traitement de la matrice biologique (IBNC et IBS), se répartissent au contraire dans des groupes différents (Fig.22) : les points effectués en février 2006 et août 2009 se projettent à gauche du plan et sont caractérisés par de faibles notes IBNC et IBS, les points janvier et septembre 2008 se projettent au centre du plan et sont caractérisés par des notes IBNC moyennes et IBS faibles, les points février 2005 et décembre 2008 se projettent à droite du plan et sont caractérisés par des notes IBNC élevées et IBS moyennes.

De même les points août 2006 et septembre 2009 formant l'ensemble 2 au regard de la matrice physico-chimique, se projettent au regard de la matrice biologique au sein de l'ensemble de mauvaise qualité (septembre 2009) et de qualité passable (août 2006) pour l'IBNC. En ce qui concerne l'IBS ces deux points sont dans le vaste ensemble caractérisé par une mauvaise qualité.

Il apparaît donc au regard de cette analyse que le jeu de variables physico-chimiques n'explique pas entièrement et de manière satisfaisante la structure de la projection des individus issue du traitement des variables biologiques. Cela n'apparaît pas étonnant au regard du type de variables confrontées : mesures physico-chimiques retranscrivant à un instant « t » la qualité du milieu et bioindicateurs intégrant l'ensemble des changements du milieu sur une période plus ou moins longue. Signalons également le fait que les bioindicateurs basés sur les invertébrés benthiques (type IBGN) caractérisent en plus de la qualité physico-chimique de l'eau la qualité des habitats (non prise en compte dans les bilans physico-chimiques classiques) et ne sont donc pas *de facto* corrélés à la qualité physico-chimique de la masse d'eau, contrairement aux indices diatomiques du type IBD. L'IBNC comme l'IBS apparaissent donc réagir comme l'IBGN pour lequel il a été couramment constaté une absence de corrélation stricte (au sens statistique du terme) avec la qualité générale physico-chimique des masses d'eau.

Au regard de ces derniers résultats il apparaît donc que l'évolution constatée des notes IBNC et IBS ne peuvent s'expliquer à la seule simple lecture du degré de corrélation entre les différentes variables physico-chimiques mesurées et les dits indices. Afin d'inférer les causes à l'origine des

fluctuations de la qualité biologique du milieu indiquées par ces indices, il apparaît donc nécessaire de revenir sur le fonctionnement général de l'écosystème aquatique du creek et de l'opposé au phasage connu des travaux et sources potentielles d'altération.

En ce qui concerne l'IBNC, les principales sources anthropiques d'altération organique ayant pu avoir une influence sur le creek sont :

- entre fin 2005 et janvier 2008, le rejet de l'effluent de la station d'épuration ;
- à partir de 2008 le rejet des eaux de refroidissement de la centrale thermique de Prony Energies.

Dans le cas de la station d'épuration, les principales conséquences ayant pu entraîner une dégradation de la qualité physico-chimique du creek, sont une modification des concentrations en nitrates et phosphates. Or nous avons vu que les mesures physico-chimiques réalisées lors de l'année 2007 (mars et octobre) ainsi qu'en janvier 2008 montrent de faibles concentrations en NO_3 ($< 1\text{mg/L}$) et en PO_4 ($< 0,2\text{ mg/L}$). Nous ne disposons pas de ces valeurs pour l'année 2006. Notons toutefois que dans le cas du creek Baie Nord, cours d'eau drainant des terrains latéritiques naturellement pauvres en éléments azotés, tout apport en quantité raisonnable de matière nutritives azotés ou phosphatés va avoir pour effet de stimuler la croissance algale, végétaux qui en consommant ces derniers vont maintenir leurs concentrations à des valeurs proches de la normale. A partir de ce dernier point est au vu du développement algal constaté lors des relevés effectués lors de l'étiage 2006 et 2007 au droit de la station H/6-T (cf. photo ci-dessous), nous pouvons supposer que le rejet de la STEP a induit un accroissement du taux de colonisation du substrat par les algues benthiques. Notons que cette colonisation n'a pas été observée au droit de la station 6-BNOR1 localisée en amont du point de rejet de la STEP en octobre, novembre et décembre 2007. Cette colonisation en modifiant l'habitat des invertébrés a généré une modification de leur structure, les *taxa* polluosensibles vis-à-vis des altérations organiques laissant la place au *taxa* polluotolérants comme en témoigne le recul de l'abondance relative en larves d'éphémères et Trichoptères et l'augmentation de l'abondance relative en larves de *Chironomidae* constatée lors de ces deux périodes d'étiage. Les notes IBNC moyennes similaires obtenues pour ces deux périodes montrent toutefois que malgré la présence de ce rejet la qualité biologique de l'eau s'est maintenue à un état passable ($\text{IBNC}_{2006} = 5,24 \pm 0,37$ et $\text{IBNC}_{2007} = 5,31 \pm 0,46$). De même si nous comparons maintenant ces valeurs aux notes IBNC obtenues au droit des stations 6-BNOR1 et 6-BNOR2, localisées respectivement en amont et aval immédiat du point de rejet (Fig. 23), nous pouvons constater que pour la période d'étiage 2007 (octobre 2007 à janvier 2008), la note IBNC moyenne obtenue au droit de la station H/6-T localisée 500 m environ en aval du rejet, ne présente pas de différence significative au sens statistique du terme avec la note moyenne obtenue au droit de la station 6BNOR1, station de référence en amont immédiat du rejet ($\text{IBNC} = 5,69 \pm 0,25$ et $5,31 \pm 0,46$, test U ; $p = 0,3$). Notons que selon le système de classification IBNC, la station 6-BNOR1 présente une « bonne » qualité biologique moyenne lors de cette période, alors que la station H/6-T présente une qualité biologique moyenne « passable », le seuil séparant ces deux classes de qualité étant à 5,5. La seule variation significative au regard de la note calculée pour la station de référence 6-BNOR1, fût observée au droit de la station 6-BNOR2 localisée en aval immédiat du point de rejet

de la STEP (IBNC = $4,7 \pm 0,57$; test U ; $p < 0,05$). Au droit de ce point la qualité biologique moyenne de la masse d'eau est néanmoins demeurée « passable » selon le système de notation IBNC, bien que pour les mois de décembre 2007 et janvier 2008 des notes indiquant une mauvaise qualité aient été obtenues (IBNC = 4,25 et 4,33 respectivement).

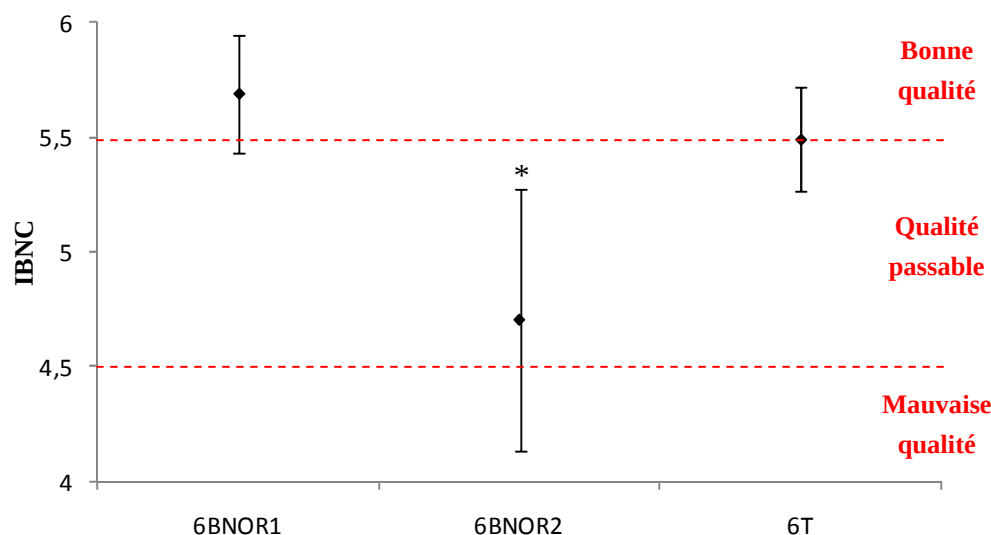


Fig. 22 : Fluctuation de la note IBNC lors de la saison d'étiage 2007 (octobre à janvier 08), au droit des stations 6-BNOR1 (amont rejet), 6-BNOR2 (aval immédiat du rejet) et H/6-T (500 m en aval du rejet) (moyenne $\pm$ erreur standard - * : différence significative par rapport à 6BNOR1)

Lors de la saison humide 2007 nous avons pu constater que les métriques abondances relatives en larves d'éphémères et Trichoptères, abondance relative en larves de *Chironomidae* ainsi que l'indice d'équitabilité reviennent à des valeurs similaires à celles mesurées en février 2005 avant tout rejet, indiquant un retour à un bon état de structuration des communautés. L'augmentation de débit et la meilleure dilution du rejet de la STEP, ainsi que les conditions climatiques moins propices au développement algal ont inhibé le processus d'eutrophisation observé en saison d'étiage et ainsi permis le retour à un état satisfaisant de la communauté. Les notes IBNC proches ou supérieures à 5,5, seuil au-delà duquel l'eau est considérée comme de bonne qualité biologique, vont dans le sens des constatations faites au travers des autres métriques faunistiques. Notons que pour cette période humide, aucun phénomène de crue n'a été constaté. Concernant l'effet des fortes précipitations, nous pouvons également signaler que le fort épisode pluvieux survenu en septembre 2007 prend le pas et accentue l'effet lié au rejet de la STEP dans le processus de déstructuration comme l'a confirmé l'analyse de l'évolution de la richesse taxonomique. En effet, lors de ces phases d'étiage, hors épisode de crue, la note IBNC oscille entre 5 et 5,5, suite à cet épisode climatique une chute de la note à 4,71 a été observée. D'autre part suite à l'augmentation du débit un phénomène de dilution du rejet est observé, dilution inhibant le phénomène d'eutrophisation lié au rejet comme en témoigne la bonne note IBNC obtenue au droit de la station 6-BNOR2 en octobre 2007 (IBNC = 5,5). Il apparaît donc que cet indice réagit également comme l'IBGN aux

importantes fluctuations de débits de type « crue » et la période de 15 jours préconisée suite à un évènement pluvieux important apparaît ici trop faible.

In fine il apparaît donc que le rejet de la station d'épuration ait altéré de manière modérée la qualité biologique du creek en saison sèche 2006 et 2007, lorsque le débit du creek fut insuffisant pour assurer la bonne dilution de l'effluent traité. La qualité biologique de l'eau a été déclassée à passable au droit de la station H/6-T, 500 m en aval du point de rejet. Lors de l'étiage 2007, période pour laquelle nous disposons de valeurs au droit des stations 6-BNOR1 et 6-BNOR2, localisées respectivement en amont et aval immédiat du point de rejet de la STEP, cette altération ne nous est apparue significative qu'au droit de la station 6-BNOR2 où la qualité biologique est devenue mauvaise lors des mois de décembre et janvier 2007. La note IBNC moyenne obtenue pour la station H/6-T ne présente pas pour cette période de différence significative avec celle obtenue au niveau de la station de référence 6-BNOR1.

Suite à l'arrêt du rejet de l'effluent, nous avons constaté un maintien d'un état de déstructuration des communautés lors de la saison humide 2008 lié aux conditions hydrauliques extrêmes ayant caractérisées le début d'année 2008 et non à des phénomènes de rémanence lié au rejet de l'effluent, les forts débits de cette période diluant toute traces éventuelles de résidus.

En ce qui concerne le rejet des eaux de refroidissement de la centrale thermique de production d'électricité de Prony Energise, nous avons vu précédemment que cette dernière a été à l'origine lors des saisons d'étiage 2008 et 2009 d'une augmentation des concentrations en phosphates des eaux du cours moyen du creek. Cette augmentation non visible au niveau de la station H/6-T, apparaît toutefois avoir eu un impact et généré une augmentation du taux de croissance des producteurs primaires benthiques (algues). Lors de ces deux saisons d'étiage le développement d'algues benthiques a été observé sur l'ensemble du creek. La chute importante en nitrates au niveau de la station H/6-T éléments nécessaires comme nous venons de la voir à la croissance de ces dernières, confirme l'hypothèse d'un impact de ce rejet sur le cours inférieur du creek. Cet impact apparaît seulement en octobre 2008 au regard du suivi physico-chimique. Toutefois, comme pour les nitrates, cet élément est consommé par les algues, consommation qui peut retarder l'augmentation significative des concentrations surtout dans les milieux déficitaires en nutriments. Les notes IBNC observée lors de l'étiage 2008 apparaissent similaires à celles observées lors des étiages 2006 et 2007 ($5 < \text{IBNC} < 5,5$) où un effet modéré de la STEP a été observé. Notons toutefois que lors de cette période l'analyse des métriques descriptives des communautés nous a permis de montrer que ces dernières étaient en phase de restructuration après la saison humide 2008 marquée par des précipitations et débits importants. De même en octobre 2008, l'importante fluctuation de débit observée (x 3), apparaît avoir eu un effet sur le degré de structuration des communautés. Cet effet nous a été confirmé au travers l'analyse de l'évolution de la richesse spécifique du creek et notamment au travers l'analyse des données acquises lors de l'étiage 2009. La note IBNC caractérisant cette période nous laisse supposer que le rejet des eaux de refroidissement de la centrale thermique en modifiant les concentrations en phosphates des eaux du creek, ont altéré la

qualité biologique de ce dernier. Cet impact se confirme en 2009, lors de la saison d'étiage, saison durant laquelle les faibles débits du creek ont abaissé le taux de dilution de cet effluent et ainsi accentuer le phénomène d'eutrophisation lié à l'augmentation des concentrations en PO_4 ($[\text{PO}_4]_{\text{septembre 2009}} = 4 \times [\text{PO}_4]_{\text{décembre 2008}}$). Les faibles notes IBNC ayant caractérisées cet étiage confirme l'altération organique liée à ce rejet.

Comme pour la STEP, le rejet des eaux de refroidissement de la centrale thermique de Prony Energies, apparaît avoir altérée en saison d'étiage la qualité biologique des eaux du creek. Les faibles débits caractérisant ces périodes ne permettant plus une bonne dilution de l'effluent. Cette altération est apparue modérée en 2008 ($5 < \text{IBNC} < 6$), année pour laquelle la saison d'étiage a été relativement humide, permettant ainsi un maintien de débits suffisants pour limiter l'impact du rejet. Lors de la saison sèche 2009, les conditions plus extrêmes de sécheresse en induisant une réduction importante des débits du creek, ont accentué l'altération liée à ce rejet ($\text{IBNC} < 4,5$).

4 EVOLUTION DES COMMUNAUTES ICHTYENNES AU SEIN DU CREEK

4.1 CARACTERISATION ET PHYSIONOMIE DU RESEAU DE SUIVI DE LA FAUNE ICHTHYENNE :

La faune ichthyenne du creek de la Baie Nord a fait l'objet d'un suivi depuis l'année 2000. Cette année là deux campagnes de caractérisation de la faune ichthyenne ont été effectuées par RESCAN au niveau de la station FW8 localisée sur la partie estuarienne du creek. Une première campagne a été menée au mois de mai, en fin de saison humide, une seconde au mois d'août en début de saison sèche. Par la suite des campagnes ont été menées en décembre 2001 au niveau de 7 points (CBN01 à CBN07) localisés sur le cours inférieurs du creek, les points CBN05 à CBN07 étant localisés au niveau de la zone estuarienne et correspondent à la station FW8. En 2002, une campagne de prélèvement a également été réalisée au mois de décembre au droit des stations CBN01 et CBN02 localisées sur la partie haute du cours inférieur et au niveau de la station CBN04 localisée plus en aval. En 2004 et 2007, les campagnes de pêche ont été menées au mois de mai. En 2004 au droit des stations CBN01, CBN04 et CBN05 et au droit des stations CBN100 et CBN200 en 2007. La station CBN100 est localisée au niveau de l'estuaire et peut être affiliée à la station CBN07, la station CBN200 étant située sur la partie médiane du cours inférieur peut être affiliée à la station CBN01. En 2008, la campagne de pêche a eu lieu en saison sèche (novembre), au niveau des stations CBN03 et CBN-6U localisées sur la partie médiane du cours inférieur. En 2009, la campagne se déroula au mois de juin et fût effectuée au droit des stations CBN10, CBN30, CBN40 et CBN70. Une station fut ajoutée sur le principal affluent du creek, l'affluent Sud. Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des campagnes effectuées. Afin de faciliter la lecture et la compréhension des résultats présentés dans les paragraphes suivants, une harmonisation de la codification des stations prospectées lors des différentes campagnes de pêche a été faite. Cette dernière est également reportée dans le tableau ci-dessous.

Comme nous pouvons le constater l'ensemble des campagnes de pêche effectuées sur le creek de la Baie Nord l'ont été sur le cours inférieur de ce dernier (zone comprise entre 0 et 50 m d'altitude). Rappelons que les creeks calédoniens peuvent être découpés en cinq zones principales selon l'altitude et la vitesse du courant (Marquet *et al.*, 2003) :

- Zone de source au-delà de 800 m d'altitude ;
- Cours supérieur entre 450 et 800 m d'altitude ;
- Cours moyen entre 150 et 450 m d'altitude ;
- Partie basse des cours d'eau entre 50 et 150 m d'altitude ;
- Cours inférieur en dessous 50 m d'altitude.

Ces cinq zones peuvent être regroupées en trois grandes zones fonctionnelles qui sont :

- Le cours supérieur présentant des pentes fortes et *de facto* un courant élevé. Le substrat y est généralement composé de blocs grossiers issus de la roche mère. La

délimitation avec le cours moyen correspond généralement à un accident topographique de type cascade ;

- Le cours moyen présentant une pente généralement inférieure à 10%, le fond est formé de galet et blocs, des fonds sableux peuvent y être rencontrés dans les zones à faibles courant ;
- Le cours inférieur correspondant à la partie du cours d'eau localisée dans la plaine littorale. Cette zone peut être sectorisée en deux parties bien distinctes :
 - La zone estuarienne soumise aux influences marines ;
 - La zone amont où les influences marines sont encore perceptibles.

Année	mois	station	Code retenu
2000	mai	FW8	CBN07
	août	FW8	CBN07
2001	Décembre	CBN01	CBN01
	Décembre	CBN02	CBN02
	Décembre	CBN03	CBN03
	Décembre	CBN04	CBN04
	Décembre	CBN05	CBN05
	Décembre	CBN06	CBN06
	Décembre	CBN07	CBN07
	Décembre	CBN07	CBN07
2002	Décembre	CBN01	CBN01
	Décembre	CBN02	CBN02
	Décembre	CBN04	CBN04
2004	Mai	CBN01	CBN01
	Mai	CBN04	CBN04
	Mai	CBN05	CBN05
2007	Mai	CBN200	CBN01
	Mai	CBN100	CBN07
2008	Novembre	CBN03	CBN03
	Novembre	CBN-6U	CBN-6U
2009	Juin	CBN10	CBN01
	Juin	CBN30	CBN03
	Juin	CBN40	CBN04
	juin	CBN70	CBN07

Tableau 5 : Synthèse des différentes campagnes de caractérisation et suivi de la faune ichthyenne du creek de la Baie Nord (source : VALE-INCO NC, RESCAN et ERBIO)

Au regard de la zonation établie par Marquet *et al.* (2003), les stations CBN01, CBN02 et CBN03 sont localisées sur la partie amont du cours inférieur, les stations CBN6-U et CBN04 sont localisée sur la partie basse de celui-ci, les stations CBN05 à CBN07 étant localisées dans la zone estuarienne du creek.

Il sera important de tenir compte de cette répartition des stations le long du cours inférieurs du creek dans l'interprétation des résultats faunistiques issus des différentes campagnes de pêche. En effet en Nouvelle-Calédonie comme dans de nombreux milieux insulaires, les conditions

écologiques au sein des cours d'eau deviennent de plus en plus contraignantes avec l'altitude (fort courant, rareté de la nourriture). Ces conditions extrêmes expliquent le fait que les $\frac{3}{4}$ des espèces soient cantonnées à une seule zone le cours inférieur, alors que seulement quelques-unes remontent jusqu'au cours supérieur (*A. marmorata*, *S. lagocephalus*,...) et que très peu vivent seulement au niveau du cours supérieur (*A. megastoma*). Il s'avère donc que la richesse des communautés dulçaquicole s'appauvrit progressivement de l'embouchure au cours supérieur (Marquet *et al.*, 2003). De même au niveau du cours inférieur, la présence d'espèces marines dans la zone estuarienne et les entrées sur de plus ou moins longues distances des espèces sporadiques, vont augmenter la richesse spécifique des communautés de cette partie du cours d'eau. De plus leurs déplacements aléatoires entre le milieu marin et dulçaquicole peuvent induire d'importante fluctuation au sein de la composition des populations.

Un autre phénomène important sera à prendre en considération dans le suivi de la faune ichthyenne du creek de la Baie Nord, le flux migratoire des différentes espèces. La faune ichthyenne dulçaquicole néo-calédonienne est en effet composée en majorité d'espèces :

- amphidromes, espèce dont les adultes évoluent en eau douce ou saumâtre, mais dont le stade larvaire issue de la reproduction qui a lieu au niveau de la zone estuarienne, effectue une partie de son développement en milieu marin après y avoir été entraîné par le courant ;
- catadromes, espèce migrant en mer pour s'y reproduire.

Il s'avère donc qu'à certaine période de l'année, les cours supérieurs, moyens et partie amont des cours inférieurs voient leur communauté appauvrie du fait de la migration des adultes reproducteurs vers la zone estuarienne ou le milieu marin. Les migrations de la faune calédonienne ne sont globalement pas encore bien définies. Nos différents travaux sur les creeks calédoniens nous laissent supposer que la recolonisation des cours d'eau par les juvéniles des espèces amphidromes s'effectue en début de saison fraîche (fin avril à juin/juillet). Le départ des adultes des cours moyens et partie amont des cours inférieurs, vers la zone estuarienne se situerait donc en fin de saison sèche.

L'interprétation des résultats obtenus dans le cadre du suivi des populations ichthyennes du creek de la Baie Nord devra donc, en plus de considérer la zonation longitudinale de l'ichtyofaune entre l'estuaire et les parties amont des creeks, tenir compte de ces flux migratoires naturels.

4.2 CARACTERISATION DE LA FAUNE ICHTHYENNE DU CREEK DE LA BAIE NORD

4.2.3 GENERALITE

L'ensemble des pêches effectuées au droit du creek de la Baie Nord ont permis de caractériser la présence de 30 espèces différentes (cf. tableau 6). Parmi ces 30 espèces, 8 espèces sont des espèces marines dont les individus ont pour habitude de pénétrer de manière aléatoire en eau douce (*Acanthurus blochii*, *Ancanthopagrus berda*, *Atule mate*, *Gerres filamentosus*, *Lutjanus argentimaculatus*, *Lutjanus russelli*, *Periophthalmus argentimaculatus*, *Sphyræna barracuda*). Plus de 60% des espèces présentes au sein du creek sont des espèces amphidromes, c'est-à-dire que leur stade de développement larvaire s'effectue en mer et donc que les adultes effectuent une migration à caractère reproducteur vers la zone estuarienne du creek. Parmi les espèces amphidromes présentes 3 espèces (*P. attiti*, *S. fuligimentus* et *S. sarasini*) appartiennent à la liste des poissons dulçaquicoles protégés par le Code de l'Environnement de la Province Sud (article 240-1 du titre IV du Livre II). Notons également la présence des espèces *Eleotris melanosoma*, *Glossobius biocellatus* et *Redigobius bikolanus*, répertoriées sur la liste rouge de l'IUCN, notons toutefois que leur statut LR/NR⁸, ne les classe pas dans les espèces en danger d'extinction. Nous pouvons également noter la présence au sein de la zone estuarienne du creek de l'espèce *Stenogobius yateiensis*, taxon également protégé au titre du Code de l'Environnement de la Province Sud. Cette espèce n'a été observée que suite à l'incident survenu en avril 2009 (déversement accidentel acide), ayant généré la mort de la quasi-totalité des poissons présents au sein du creek. Suite à cet incident, en plus des 30 espèces citées ci-dessus, 17 espèces supplémentaires jamais observées lors des pêches, ont été collectées au niveau du creek. La majorité de ces espèces étaient soit des *taxa* marins dont les individus peuvent pénétrer sporadiquement au sein de la partie basse des creeks, soit des *taxa* évoluant dans la zone estuarienne du creek.

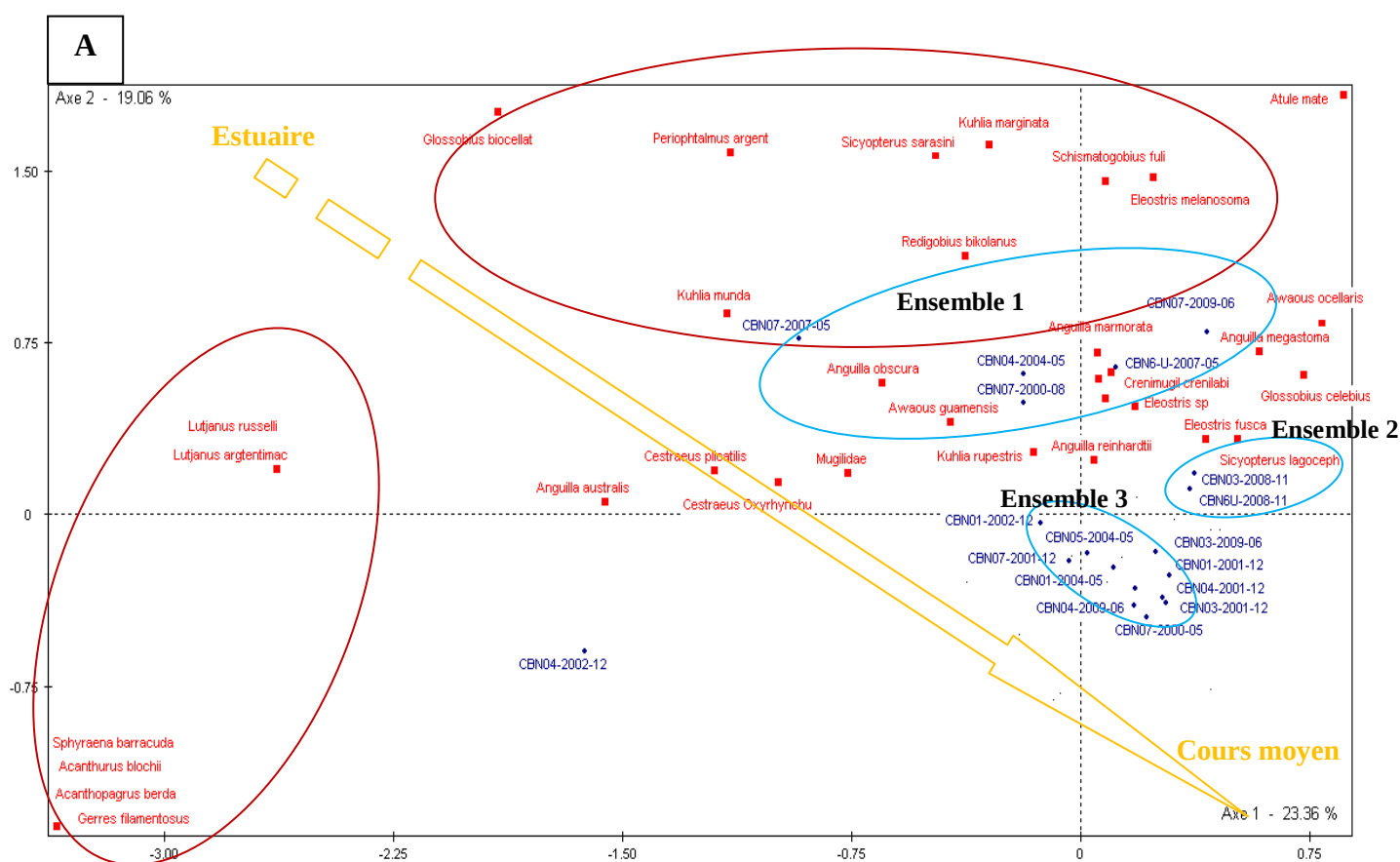
⁸ LR/NR : Lower Risk/Near threatened : Ce statut signifie que l'espèce n'est actuellement pas concernée par un risque d'extinction, mais elle pourrait, sous certaines conditions, l'être dans un futur proche.

taxon	biologie	statut
<i>Awaous guamensis</i>	amphidrome	
<i>Awaous ocellaris</i>	amphidrome	
<i>Acanthurus blochii</i>	Catadrome	
<i>Anguilla australis</i>	Catadrome	
<i>Anguilla reinhardtii</i>	Catadrome	
<i>Anguilla marmorata</i>	Catadrome	
<i>Anguilla obscura</i>	Catadrome	
<i>Anguilla megastoma</i>	Catadrome	
<i>Atule mate</i>	marine	
<i>Eleotris fusca</i>	amphidrome	
<i>Eleotris melanosoma</i>	amphidrome	LR
<i>Gerres filamentosus</i>	marine	
<i>Glossobius biocellatus</i>	amphidrome	
<i>Glossobius celebius</i>	amphidrome	
<i>Kuhlia munda</i>	Amphidrome	
<i>Kuhlia rupestris</i>	Amphidrome	
<i>Kuhlia marginata</i>	Amphidrome	
<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	marine	
<i>Lutjanus russelli</i>	marine	
<i>Periophthalmus argentimaculatus</i>	Estuarienne	
<i>Protogobius attiti</i>	amphidrome	Protégée
<i>Redigobius bikolanus</i>	Estuarienne	LR
<i>Sicyopterus sarasini</i>	amphidrome	Protégée
<i>Sicyopterus lagocephalus</i>	amphidrome	
<i>Sphyaena barracuda</i>	Marine	
<i>Schismatogobius fuligineus</i>	amphidrome	Protégée
<i>Cestraus oxyrhynchus</i>	Catadrome	
<i>Cestraus plicatilis</i>	Catadrome	
<i>Crenimugil crenilabis</i>	Catadrome	
<i>Stenogobius yateiensis</i>	Amphidrome	Protégée
<i>Selar crumenophthalmus</i>	marine	
<i>Anodontostoma chacunda</i>	marine	
<i>Selar crumenophthalmus</i>	marine	
<i>Sarotherodon occidentalis</i>	dulçaquicole	Introduite
<i>Ophieleotris nsp.</i>	dulçaquicole	
<i>Gerres oyena</i>	marine	
<i>Crenimugil heterocheilos</i>	euryhaline	
<i>Gymnothorax sp.</i>	marine	
<i>Lamnostoma orientalis</i>	euryhaline	
<i>Neopomacentrus taenirus</i>	Estuarienne	
<i>Scatophagus argus</i>	Marine	
<i>Scorpaenodes sp.</i>	Marine	
<i>Siganus canaliculatus</i>	Marine	
<i>Siganus lineatus</i>	Marine	
<i>Terapon jarbua</i>	Estuarienne	
<i>Exyrias puntang</i>	Estuarienne	

Tableau 6 : Liste faunistique des différentes espèces de poissons observées au sein du creek de la Baie Nord entre 2000 et 2009 (source Vale Inco NC.).

4.2.4 CARACTERISATION DE LA ZONATION SPATIALE DE LA FAUNE ICHTHYENNE LE LONG DU RESEAU DE SUIVI

Afin de vérifier l'existence ou non d'une zonation spatiale pouvant influencer les résultats obtenus au droit des différentes stations du réseau de suivi localisé sur le creek de la Baie Nord, une Analyse des Correspondances Multiples a été menée sur l'ensemble du jeu de donnée faunistique collecté entre 2000 et 2009 au droit des différentes stations de suivi réparties sur le cours inférieur du creek de la Baie Nord. La projection de l'ensemble des modalités des individus sur le plan défini par les deux premiers axes de l'analyse en expliquant près de 45 % de la variabilité totale retranscrit de manière satisfaisante la structure du jeu de données considéré (Fig. 24).



B : VALEURS PROPRES AVEC CORRECTION DE BENZECRI
 CES VALEURS PROPRES SONT INDICATIVES ET NE SONT PAS UTILISEES DANS LES CALCULS.
 HISTOGRAMME DES 9 PREMIERES VALEURS PROPRES

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENT.	POURCENT. CUMULE	
1	0.0440	48.88	48.88	*****
2	0.0273	30.40	79.28	*****
3	0.0089	9.90	89.18	*****
4	0.0043	4.78	93.96	*****
5	0.0028	3.10	97.06	*****
6	0.0017	1.90	98.97	****
7	0.0007	0.75	99.72	**
8	0.0002	0.28	99.99	*
9	0.0000	0.01	100.00	*

Fig. 24 : A : Projection sur le plan défini par les deux premiers axes des résultats de l'ACM menée sur les variables biologiques présence/absence des 30 espèces de poissons au droit des 7 stations du réseau de suivi ichthyologique du creek de la Baie Nord (sources Vale-Inco NC).

B : Graphe des valeurs propres.

Cette projection nous permet de discriminer graphiquement trois ensembles distincts. Ces ensembles sont du haut vers le bas :

- Un premier ensemble regroupant les pêches effectuées au niveau des stations CBN04 en mai 2004, CBN07 en août 2000, mai 2007 et juin 2009, CBN6-U en mai 2007. Ces points sont caractérisés par la présence d'espèces typiquement estuariennes (*K. munda*, *P. argenteus*, *R. bikolanus*, *G. biocellatus*, *E. melanosoma*) ;
- Un deuxième groupe composé des pêches effectuées au droit des stations CBN03 et CBN6-U en novembre 2008, caractérisés par l'absence d'espèce estuarienne, ces deux stations seraient représentatives de la partie médiane du cours inférieur ;
- Un troisième ensemble regroupant la totalité des pêches effectuées au droit de la station CBN01 (en 2001, 2002 et 2004) localisée sur la partie amont du cours inférieur, des stations CBN07 en mai 2000, CBN05 en mai 2004, CBN03 et CBN04 en juin 2009, de l'ensemble des stations prospectées en décembre 2001.

Outre ces trois groupes, nous pouvons constater qu'en 2002, la station CBN04 présentait une faune qui l'individualise de l'ensemble des autres stations. Cette faune est caractérisée par la présence d'espèces marines (*S. barracuda*, *A. blochii*, *A. berda*, *G. filamentous*)

La classification hiérarchique de Ward menée sur les résultats de l'ACM confirme les groupes décrits ci-dessus (Fig.25).

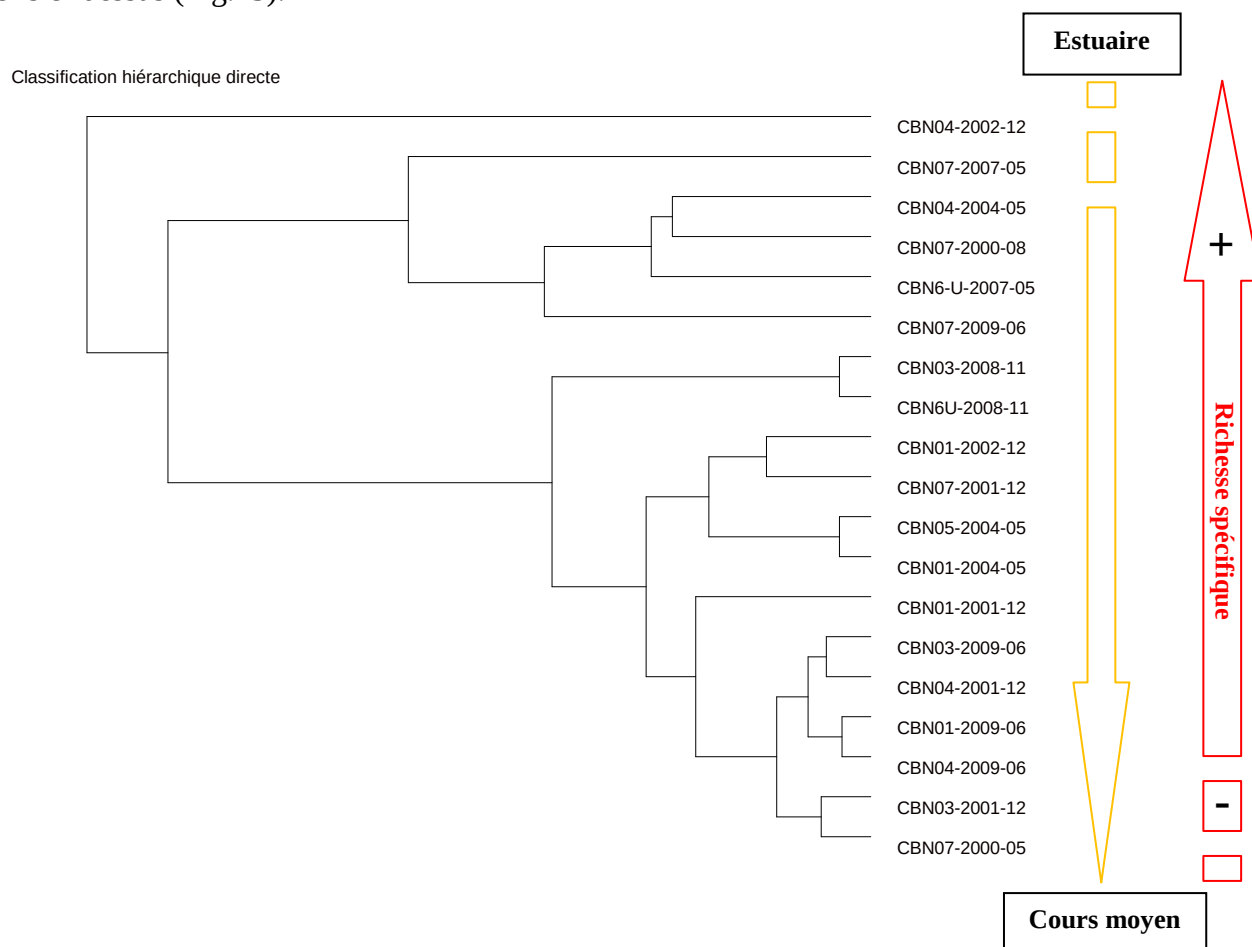


Fig. 25 : Résultats de la classification hiérarchique de Ward menée sur les deux premiers axes factoriels de l'ACM menée sur les variables biologiques présence/absence des 30 espèces de poissons au droit des 7 stations de suivi ichthyologique du réseau de suivi de la qualité écologique du creek de la Baie Nord (sources Vale-Inco NC).

Cette analyse nous permet donc de constater qu'une structuration spatiale de la faune ichthyologique se dégage le long du réseau de suivi mis en place par Vale-Inco NC au droit du cours inférieur du creek de la Baie Nord. Nous pouvons en effet constater que la faune des stations CBN07 à CBN04 est caractérisée par la présence, aux côtés des espèces ubiquistes retrouvées au droit de l'ensemble des stations, d'espèces typiques de ces milieux (*K. munda*, *P. argentilineatus*, *R. bikolanus*, *G. biocellatus*, *E. melanosoma*), ainsi que sporadiquement par la présence d'espèces marines (*S. barracuda*, *A. blochii*, *A. berda*, *G. filamentous*). Cette influence marine-estuarienne peut se faire sentir au droit de la station CBN6-U localisée quelques dizaines de mètres en amont de la station CBN04, comme nous pouvons le constater au travers de transfert en mai 2007 de la projection de cette station de l'ensemble 2 à l'ensemble 1 de l'ACM (cf. Fig. 24 et 25). Cette analyse nous montre également que cette influence marine-estuarienne ne se fait plus ressentir au droit de la station CBN01 localisée sur la partie amont du cours inférieur où seules les espèces ubiquistes, nous entendons par là présentes au droit de l'ensemble des stations du réseau, ont été observées (*A. guamensis*, *K. rupestris*, *E. fusca*, *A. marmorata*, *A. reinhardtii*, *A. megastoma*, *G. celebius*, *S. lagocephalus*).

Comme énoncé précédemment la présence de ces espèces marines et estuariennes influence fortement la richesse spécifique mesurée au droit de l'ensemble de ces stations. En effet, nous pouvons constater que les campagnes de pêche effectuées au droit des stations formant le premier ensemble défini ci-dessus ont permis d'observer une ichtyofaune présentant une richesse spécifique comprise entre 11 et 16 espèces. Dans les ensembles 2 et 3, du fait de l'absence de ces espèces, la richesse spécifique diminue. Au droit des stations composant l'ensemble 2 seulement 7 à 9 espèces différentes ont été collectées. Seules 1 à 5 espèces différentes ont été observées au niveau des stations composant l'ensemble 3, à l'exception de la station CBN01 en décembre 2002 où 8 espèces ont été collectées, dont les deux espèces du genre *Cestraeus* ou mulets noirs et l'espèce endémique *P. attiti*.

Notre analyse en plus de mettre en évidence l'existence de cette structuration spatiale, nous permet de constater la stabilité de cette dernière. En effet, nous pouvons constater que pour chacune des campagnes de pêche effectuées entre 2000 et 2009, les stations du réseau de suivi se maintiennent au sein de leur ensemble respectif :

- Les stations estuariennes CBN07 et CBN04 se distribuent pour l'ensemble des années considérées (août 2000, décembre 2002, mai 2005, mai 2007 et juin 2009) au sein de l'ensemble 1. Seules les pêches effectuées en mai 2000 et décembre 2001 au droit de CBN07 et en décembre 2001 et juin 2009 au droit de CBN04 voient leur projection se distribuer au sein de l'ensemble 1 ;
- Les stations CBN03 et CBN6-U se distribuent au sein de l'ensemble 1 et 2 à l'exception des pêches effectuées en décembre 2001 et en juin 2009 au droit de la station CBN03 ;
- La station CBN01 se distribue au sein de l'ensemble 3 pour l'ensemble des campagnes de pêches.

Cette distribution graphique met donc bien en évidence la stabilité générale de la zonation spatiale de l'ichtyofaune le long du réseau de suivi entre 2000 et 2009.

D'autre part, ce résultat met également en avant des dates de campagne pour lesquelles la composition de la faune apparaît fortement atypique. En effet, comme nous avons pu le voir ci-dessus, les campagnes de pêche effectuées en mai 2000, décembre 2001 et juin 2009, au droit des stations estuariennes (CBN07 et CBN04) ont révélé une faune présentant une richesse anormalement faible ($1 < N < 5$ spp, transfert de ces point de l'ensemble 1 à l'ensemble 3). De même, les campagnes de pêche effectuées au droit de la station CBN03 en décembre 2001 et juin 2009, montrent également une chute de leur richesse taxonomique (transfert de l'ensemble 2 à l'ensemble 3). De manière plus générale, il apparaît donc que lors de la campagne de pêche menée en décembre 2001, les populations ichthyennes du creek de la Baie Nord, présentaient une faible richesse au droit de l'ensemble des stations de la partie basse du cours inférieur. De même en juin 2009, une faible richesse a été observée de la station CBN04 localisées en limite amont de la zone sous influence estuarienne, à la station CBN01 localisée sur la partie amont du cours inférieur. De même nous avons vu que la campagne menée en mai 2000 au droit de la station CBN07 avait mis en évidence une faune peu diversifiée, alors que la même année la campagne menée 3 mois plus tard, au mois d'août, avait révélé la présence de plus d'une dizaine de *taxa* au droit de la même station. Avant d'aller plus en avant dans la recherche d'explication à ces « *patterns* » atypiques observés au droit du creek Baie Nord lors de certaines campagnes de pêche, il est important de revenir sur le caractère amphidrome ou catadrome de la plupart des espèces composant les communautés ichthyennes dulçaquicoles calédoniennes. En effet, cette caractéristique induit la présence de flux migratoires saisonniers des différentes espèces des zones amont des creeks vers les zones estuariennes, siège de la reproduction. Ces flux migratoires peuvent fortement influencer la composition de la communauté ichthyenne au droit d'une station. Afin de s'affranchir de cette variabilité naturelle dans l'interprétation des évolutions observées au sein des communautés ichthyennes du creek de la Baie Nord, nous allons dans le paragraphe suivant nous attacher à caractériser les flux migratoires des principales espèces composant les communautés du creek de la Baie Nord.

4.2.5 CARACTERISATION DE LA VARIABILITE TEMPORELLE DES COMMUNAUTES ICHTHYENNES DU CREEK DE LA BAIE NORD

Afin d'étudier la zonation temporelle des différentes populations de poissons présentes au sein du creek de la Baie Nord, l'ensemble des données collectées depuis 2000 sur l'ensemble du creek ont été utilisées. Rappelons en effet, que certaines campagnes ont été effectuées lors des mois de mai-juin correspondant à l'automne austral, marqué par la chute des précipitations et la diminution des débits des creeks, alors que d'autre ont été effectuées en fin d'année, au cours des mois de novembre-décembre lors du printemps austral caractérisé par une augmentation des débits

liée à la reprise progressives des précipitations. Notons que ces saisons sont plus ou moins marquées selon les années et peuvent être décalées dans le temps.

Dans un premier temps si nous procédons à une analyse comparative de la composition des communautés ichthyennes présentes lors de ces deux saisons au sein du creek, nous pouvons constater que ces dernières présentent globalement une richesse taxonomique voisine (20 vs 22 taxa respectivement – cf. Fig.26).

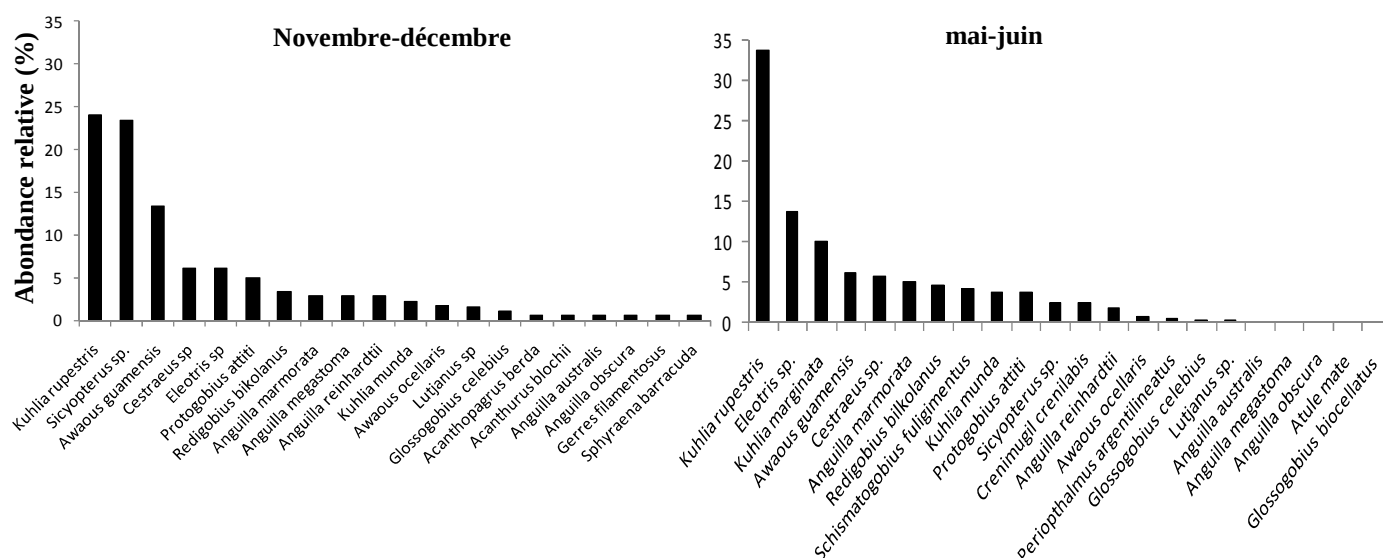


Fig. 26 : Abondances relatives des différents taxa composant les communautés ichthyennes du creek de la Baie Nord entre 2001 et 2000. (Source Vale Inco NC)

Si nous nous intéressons maintenant à l'abondance relative de chacun des taxa au sein des communautés peuplant le creek, nous pouvons globalement constater que lors des deux saisons considérées, les populations sont dominées par les familles des *Kuhliidae*, des *Eleotridae* et des *Gobiidae*, qui représentent à elles trois plus de 50% des espèces collectées. A leurs côtés les familles des *Anguillidae*, des *Mugilidae* et des *Rhacichthyidae* présentent des abondances relatives comprises entre 3 et 10 %, les taxa marins représentant le reste de la communauté. Cette composition faunistique de la communauté ichthyenne du creek de la Baie Nord apparaît, dans sa globalité, typique de celle observée généralement dans les creeks calédoniens (Marquet *et al.*, 2003).

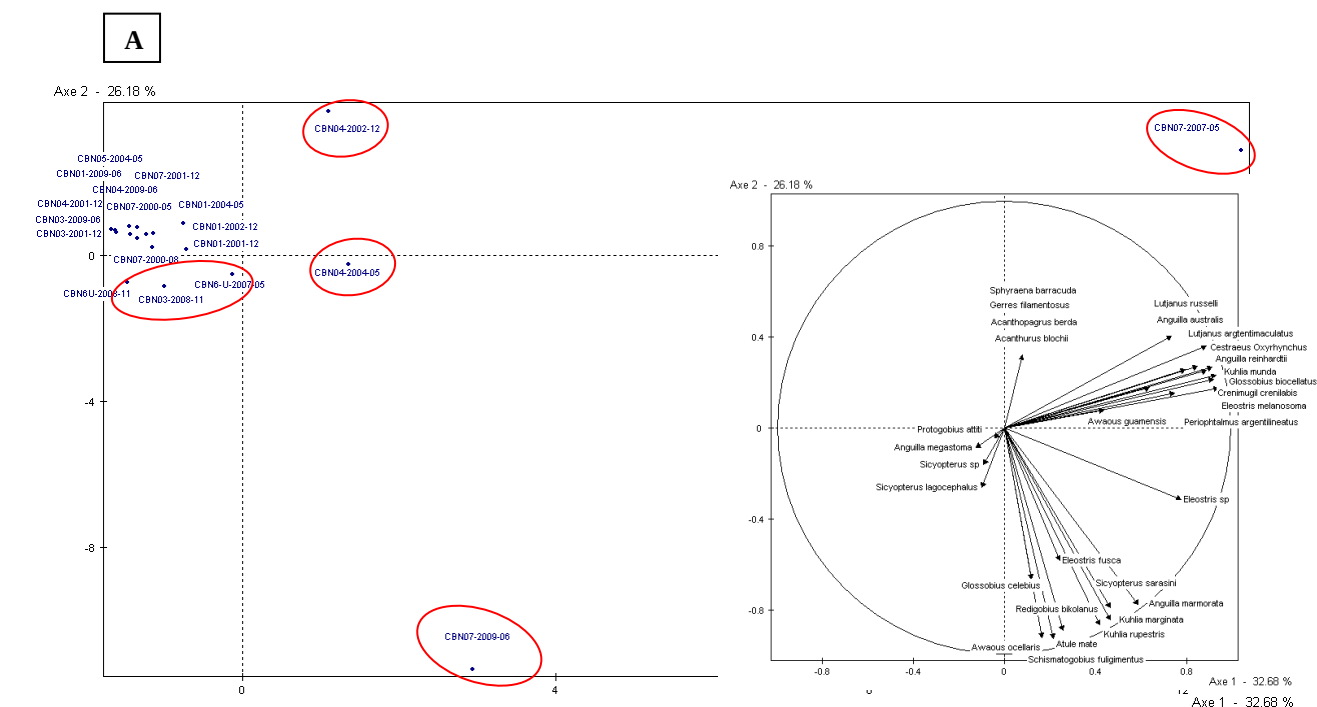
Au sein de cette structuration générale commune aux deux saisons, des divergences apparaissent toutefois. En effet, aux mois de mai-juin, les communautés du creek sont dominées par les familles des *Kuhliidae* (*K. rupestris* représente à elle seule plus de 30 % des captures) et des *Eleotridae* (près de 15% des captures). Aux mois de novembre-décembre, la famille des *Kuhliidae* et plus précisément l'espèce *K. rupestris* domine toujours la communauté (24 % des captures), par contre nous pouvons observer un recul de la famille des *Eleotridae* du second au 5 rang, au profit de la famille des *Gobiidae* et plus précisément du genre *Sicyopterus* qui passe du 11^{ème} au second rang.

Outre cette différence minimale dans la répartition des *taxa* en fonction de leur abondance relative au sein des communautés peuplant le creek lors des deux saisons considérées, nous pouvons surtout constater une importante différence en terme d'abondance absolue. En effet, entre 2001 et 2009, 928 poissons ont été collectés aux mois de mai-juin, soit 80% de l'ensemble des prises effectuées sur cette période. Seulement 179 individus ont été collectés aux mois de novembre-décembre ; soit environ 20% des poissons collectés entre 2001 et 2009. Notons que le nombre de campagnes pratiquées lors de chacune des deux saisons considérées sont similaires (8 stations échantillonnées en novembre-décembre lors des années 2001, 2002 et 2008 vs 9 stations échantillonnées en mai-juin lors des années 2004, 2007 et 2009 :). Ce dernier résultat nous montre donc que les populations de poissons peuplant le creek lors du « printemps austral » présentent une abondance nettement inférieure aux populations observées lors de « l'automne austral ».

Nous avons vu que cette importante différence, ne pouvait trouver son origine dans une quelconque perte de richesse taxonomique entre les deux saisons, le nombre de *taxa* observés étant globalement le même au droit de l'ensemble du bassin versant pour les deux périodes considérées. Afin de caractériser plus finement cette différence d'abondance au sein des populations piscicoles du creek, nous avons intégré l'ensemble des résultats faunistiques acquis lors de chacune des années de suivi au sein d'une Analyse en Composante Principale. L'abondance de chaque taxon a été utilisée comme modalité descriptive de chaque variable faunistique. Comme nous pouvons le constater sur la figure 27 ci-dessous, la projection de l'ensemble des modalités au sein du plan défini par les deux premiers axes de l'analyse, en expliquant plus de 50% de la variabilité totale, retranscrit d'assez bonne manière la structure du jeu de données analysé.

La distribution graphique des différentes campagnes de pêches au sein du plan de l'ACP nous permet de constater que plusieurs points s'individualisent de l'ensemble n°1 localisé en haut à gauche du plan et regroupant les campagnes où de faibles abondances ont été observées pour l'ensemble des *taxa* présents (CBN01 en décembre 2001 et 2002, ainsi qu'en mai 2004, CBN03 et CBN04 en décembre 2001 et juin 2009, CBN05 en mai 2004 et CBN07 en mai et août 2000 et décembre 2001). Ces groupes sont :

- L'individualisation des campagnes de pêche effectuées au droit de la station CBN07 en mai 2007 et juin 2009. Ces deux campagnes sont caractérisées par des communautés piscicoles présentant pour chacune des espèces présentes une forte abondance ;
- L'individualisation des campagnes de pêche effectuées au droit de la station CBN04 en mai 2004 et décembre 2002. Lors de la campagne de 2002, les communautés étaient caractérisées par la présence d'espèces marines en abondance, alors qu'en 2004, cette station s'individualise de part la présence d'une faune présentant une composition faunistique proche de celle observée en mai 2007, mais moins abondante ;



VALEURS PROPRES

APERÇU DE LA PRECISION DES CALCULS : TRACE AVANT DIAGONALISATION ... 32.0000
SOMME DES VALEURS PROPRES 32.0000

HISTOGRAMME DES 19 PREMIERES VALEURS PROPRES

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENTAGE	POURCENTAGE CUMULE	
1	10.4578	32.68	32.68	*****
2	8.3788	26.18	58.86	*****
3	5.0165	15.68	74.54	*****
4	3.2525	10.16	84.70	*****
5	2.0903	6.53	91.24	*****
6	1.2502	3.91	95.14	*****
7	0.9344	2.92	98.06	*****
8	0.2057	0.64	98.71	**
9	0.1546	0.48	99.19	**
10	0.1053	0.33	99.52	*
11	0.0660	0.21	99.73	*
12	0.0411	0.13	99.85	*
13	0.0237	0.07	99.93	*
14	0.0131	0.04	99.97	*
15	0.0082	0.03	99.99	*
16	0.0012	0.00	100.00	*
17	0.0005	0.00	100.00	*
18	0.0000	0.00	100.00	*
19	0.0000	0.00	100.00	*

Fig. 27 : A : Projection sur le plan défini par les deux premiers axes des résultats de l'ACP menée à partir de l'abondances absolue des 30 espèces de poissons collectées au droit des différentes stations du réseau de suivi ichthyologique du creek de la Baie Nord (sources Vale-Inco NC).

B : Graphe des valeurs propres

- L'individualisation des campagnes de pêche effectuées au droit des stations CBN03 et CBN6-U en mai 2007 et novembre 2008, caractérisées par la présence à des degrés d'abondance plus ou moins importants des espèces *S. lagocephalus*, *P. attiti*, *A. megastoma* ;

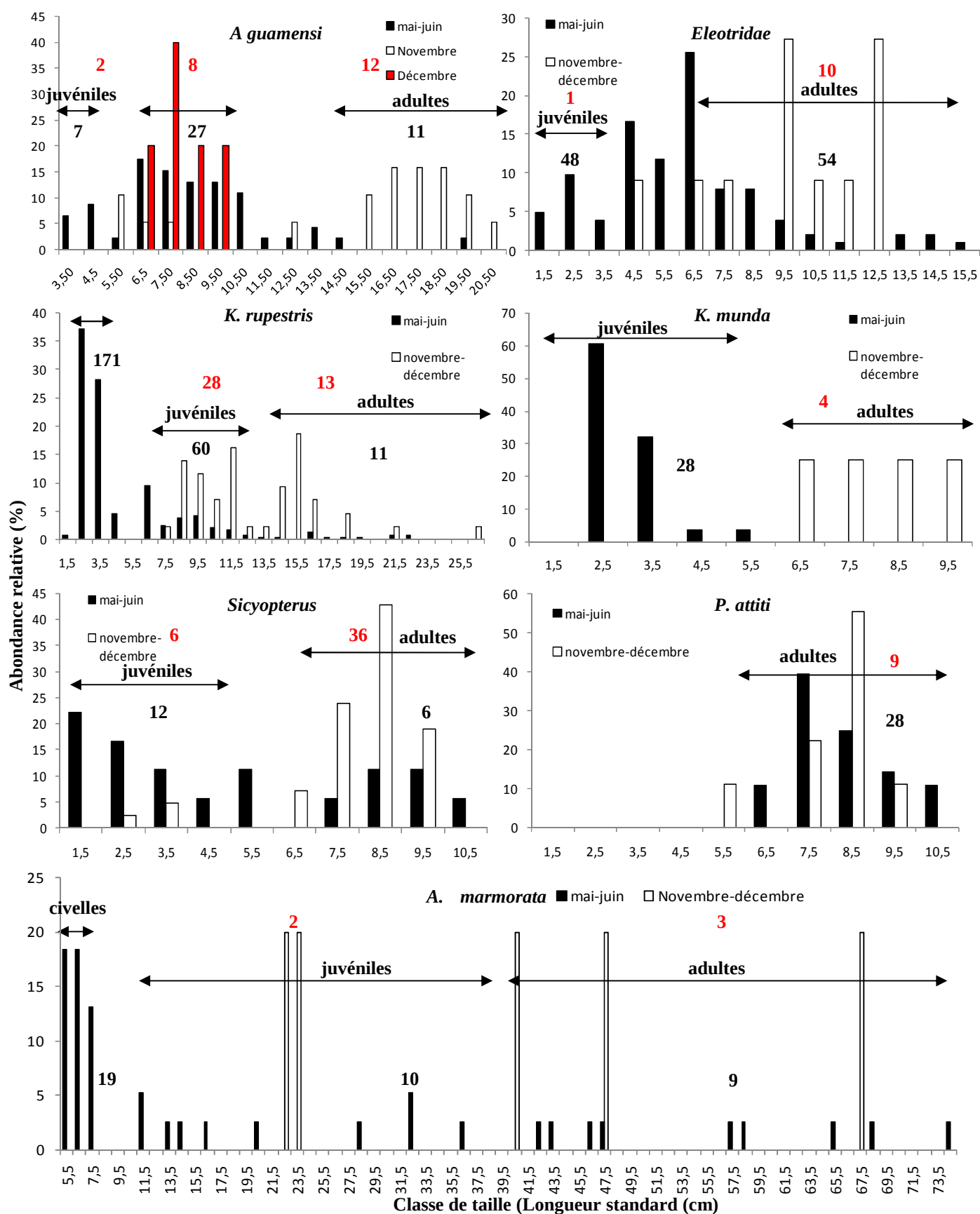
Cette analyse globale nous permet de constater que globalement les stations de la partie amont du cours inférieur du creek (CBN01, CBN03 et CBN6-U) se répartissent pour les deux périodes considérées au sein des mêmes ensembles. Au contraire les stations de la partie basse (CBN04) et surtout estuarienne (CBN07), présentent des abondances importantes qui les individualisent de leurs homologues échantillonnés aux mois de novembre-décembre.

L'important écart observé dans les abondances des communautés peuplant le creek aux mois de mai-juin et celles peuplant le creek aux mois de novembre-décembre s'explique donc principalement du fait des abondances importantes observées lors des mois de mai-juin au droit de la station estuarienne CBN07 et dans une moindre mesure CBN04.

Afin de mieux comprendre les phénomènes entrant en jeux et à l'origine de cette augmentation d'abondance au droit des stations estuariennes lors des mois de mai-juin, nous allons maintenant revenir sur la structuration des populations des principales espèces amphidromes et catadromes peuplant le creek, espèces qui comme le sous-entendent leurs qualificatifs, possèdent des phases marines et dulçaquicoles au sein de leur cycle.

Comme nous pouvons le constater à la lecture de la figure 27 ci-dessous, les différentes populations des principales espèces amphidromes ou catadromes présentes sont composées en mai-juin d'un grand nombre d'individus appartenant aux cohortes de juvéniles. Ces cohortes pour la plupart des *taxa* sont composées d'un grand nombre d'individus, représentant ainsi une fraction importante des populations. Citons pour exemple les espèces *K. rupestris* dont plus de 70% des individus collectés lors des campagnes se déroulant en mai-juin, soit plus de 170 poissons, appartiennent à la cohorte des alvins issus de la dernière reproduction (Lstd < 5cm), ou bien l'espèce *K. munda* dont tout les individus présents lors de cette saison sont des jeunes alvins. Le même phénomène est observé avec les espèces *A. marmorata* et la famille des *Eleotridae*, pour lesquelles 50 et 47% des individus collectés appartiennent à la cohorte des jeunes de l'année (Cf. Fig.28a). Notons que pour la plupart des espèces, la cohorte des juvéniles issus du dernier épisode de reproduction est observée uniquement au droit des stations localisées au niveau de la zone estuarienne (CBN07 et CBN04), expliquant ainsi l'importante augmentation d'abondance observée au droit de cette station pour les mois de mai-juin (cf. Fig.28b).

Les populations collectées aux mois de novembre-décembre sont quant à elles composées majoritairement d'individus appartenant aux cohortes d'adultes reproducteurs ou immatures, ces cohortes étant représentées dans les différentes campagnes de pêche par un nombre plus faibles d'individus. Notons toutefois l'exception observée pour le genre *Sicyopterus*, où un nombre important d'adultes sexuellement actifs ont été collectés en novembre 2008 comparativement aux autres campagnes de prélèvements (les 36 individus adultes ont été collectés en novembre 2008 au niveau des stations CBN6-U et CBN03).



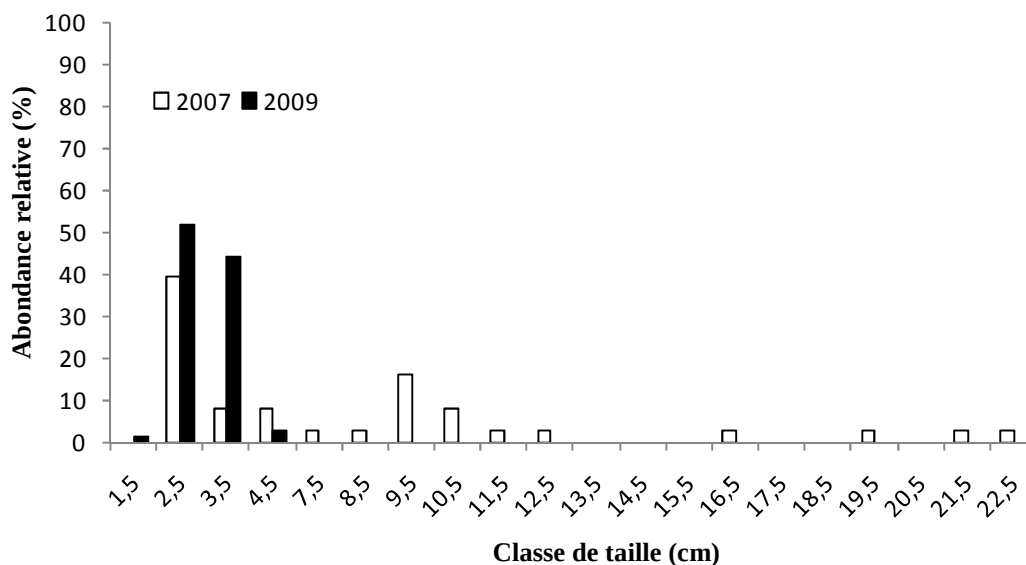


Fig. 28b : Structures des populations de l'espèce *K. rupestris*, en mai-juin au droit de la station estuarienne CBN07

Ces résultats nous permettent de constater que les périodes d'arrivée des juvéniles au sein des zones estuariennes des creek et dans une moindre mesure la période de reproduction, peuvent fortement influencer l'abondance des communautés ichthyennes observée au droit d'une station. En effet en mai-juin, le nombre important de juvéniles est, en supposant l'effort de pêche constant, à l'origine de l'augmentation d'abondance observée au niveau des stations estuariennes.

Ces résultats nous renseignent fortement sur la saisonnalité des flux migratoires régissant la structure des communautés ichthyennes du creek de la Baie Nord. En effet nous pouvons constater au travers des concentrations en juvéniles observées aux mois de mai-juin, que la fin de l'automne austral constitue, pour la plupart des espèces amphidromes et catadromes, la période d'arrivée au niveau de la zone estuarienne des alvins issus du précédent épisode de reproduction. A l'opposé, nous pouvons observer lors du printemps austral, des phénomènes de concentrations au niveau de la partie basse du cours inférieur (stations CBN03 et CBN6-U), d'adultes sexuellement mûres et actifs. Signalons que des flux migratoires et saisonnalité similaires ont été observés par notre bureau au sein des creeks drainant le massif du KONIAMBO, ainsi qu'au sein du creek de Déva (commune de Bourail), sur la côte Ouest de la Grande-Terre lors des années 2008-2009. D'autre part, la période de 5 à 6 mois, soit 150 à 180 jours séparant la période de reproduction et l'arrivée des alvins à l'embouchure des creek, période correspondant à la phase marine des larves, est en adéquation avec les temps de séjour en milieu marin reporté pour certaines espèces au droit de milieux insulaires différents (*A. guamensis* à Hawaï ou *S. lagocephalus* à la Réunion par exemple). Les facteurs environnementaux à l'origine de la migration vers le cours inférieurs des adultes reproducteurs ne sont jusqu'à présent pas connus avec précision. La saisonnalité observée ici et au sein d'autres bassins versants calédonniens apparaît toutefois permettre aux poissons amphidromes

de profiter des conditions hydrologiques optimales au bon déroulement de chacune des phases de leur cycle :

- la reproduction lors de la fin de l'automne austral, permettrait aux larves de profiter de la reprise des précipitations et de l'augmentation de débit pour gagner rapidement le milieu marin en se laissant entrainer par le courant (la longévité des larves en eau douce est de l'ordre de quelques jours pour certaines espèces) ;
- l'arrivée au sein des creek des juvéniles lors des mois de mai-juin, suite au retour des débits des creeks à des valeurs plus faibles, pourrait faciliter la colonisation et la remontée des cours d'eau par ces derniers lors de la période d'étiage qui démarre.

En supposant un effet du débit et de la hauteur d'eau sur le contrôle des flux migratoires, il apparaît alors que la saisonnalité de ces flux pourrait s'avérer légèrement décalée dans le temps en fonction du régime des précipitations. Si nous nous référons aux données collectées au droit du creek de la Baie Nord, nous pouvons constater que pour les années 2004, 2007 et 2009, l'arrivée des juvéniles au niveau de la station CBN07 localisée au niveau de l'estuaire du creek a été observée sur la période s'étalant sur les mois de mai-juin.

En termes de bioindication, ces phénomènes de concentrations périodiques des espèces au droit des stations estuariennes et de la partie basse des cours inférieurs, peuvent s'avérer problématique s'ils ne sont pas considérés dans l'interprétation des résultats. En effet, l'arrivée massive de juvéniles de certaines espèces, où la concentration d'adultes reproducteurs au droit de certaines stations, sont à l'origine de déséquilibre « naturels » de la structure des communautés. En effet, lors de ces deux épisodes, l'abondance relative de certains *taxa* peut fortement augmenter au droit des cours inférieurs des creeks et influencer négativement les indices d'équitabilité.

4.3 EVOLUTION DE LA COMMUNAUTE ICHTHYENNE DU CREEK BAIE NORD SUITE A L'ENTREE EN PHASE DE CONSTRUCTION DU PROJET DE VALE- INCO NC

A la lumière des éléments présentés dans les deux paragraphes précédents nous allons maintenant revenir sur les résultats acquis lors des différentes campagnes de suivi afin de caractériser l'évolution des communautés ichthyennes au sein du creek de la Baie Nord suite à l'entrée en phase de construction du projet de VALE-INCO NC.

Au travers de l'approche globale menée à l'aide de l'ACM présentée au § 4.2.2., nous avons pu constater que les différentes campagnes de pêches menées au droit des différentes stations entre 2000 et 2009 présentaient une répartition assez stable au sein des différents ensembles définis par cette analyse, ensembles retranscrivant la zonation spatiale amont-aval du cours inférieur du creek. Seules les campagnes menées lors des années 2001 au droit de l'ensemble des stations et 2009 au droit des stations CBN04 et CBN03, présentaient une répartition atypique, indiquant une chute de la richesse taxonomique au droit de ces dernières.

L'ACP menée sur l'abondance des différents *taxa* présents au droit des différentes stations lors des différentes campagnes de pêche, nous montre également une répartition atypique pour les campagnes réalisées au droit des stations CBN03 et CBN04 en juin 2009 (positionnement de ces deux points au sein de l'ensemble 1). En ce qui concerne les pêches effectuées au droit des différentes stations lors de l'année 2001, cette analyse nous permet également de constater que les résultats acquis au niveau des stations CBN03 et CBN04 présentent des abondances plus faibles que celles observées au droit de ces mêmes stations en 2002 et 2008.

Il est important de noter que la campagne de pêche menée en 2001 s'est déroulée à la fin du mois de décembre (28-30 décembre), en 2002 la campagne a été menée au début du même mois (4 décembre) et en 2008, la campagne a été menée mi-novembre. Or rappelons ici que nous avons vu ci-dessus, que la période de reproduction des espèces amphidromes semblait se situer lors du printemps austral. Lors de cette période, une migration des adultes en âge de se reproduire à lieu vers la partie basse du cours inférieur, voire au niveau de la zone estuarienne (les *Kuhliidae*, se reproduiraient au niveau de la zone aval de l'estuaire, une salinité de 25‰ étant nécessaire à la réussite de la ponte), où une concentration de ces derniers peut-être observée. Nous avons vu que la campagne de pêche effectuée en novembre 2008 avait permis une telle observation au droit des stations CBN03 et CBN6-U, notamment pour les genres *Sicyopterus*, *Awaous* et *Protogobius*. Les concentrations importantes d'adultes reproducteurs au droit de ces stations ont induit les fortes abondances observées en 2008 (131 poissons). Comme énoncé plus haut, les facteurs naturels déclenchant la migration reproductive des différentes espèces ne sont à ce jour pas définis avec précisions, toutefois au vu de la date tardive à laquelle la campagne de pêche de l'année 2001 s'est déroulée, nous pouvons supposer que les concentrations d'espèces observées en novembre étaient terminées, expliquant les plus faibles abondances observées. De même, l'absence de l'espèce *K. rupestris*, abondante au niveau du creek lors des autres campagnes de pêche, laisse supposer que la migration des adultes reproducteurs au niveau de la zone estuarienne aval a déjà eu lieu.

Le fait que les dates des campagnes de prélèvements effectuées en fin d'année, ne se superposent pas exactement et ne soient pas calées en fonction des paramètres saisonniers déclenchant la migration (chose difficile à faire, sachant que ces facteurs ne sont pas encore définis avec précisions en Nouvelle-Calédonie), rend difficile la comparaison et l'interprétation des résultats faunistiques obtenus.

En ce qui concerne les campagnes effectuées aux mois de mai-juin, l'ACM menée sur les variables faunistiques a montré que les stations estuariennes CBN04 et CBN07 se classaient au sein du même ensemble pour les années 2004, 2007 et 2009. Seule la station CBN04 en 2009 présentait une faune anormalement appauvrie (2 *taxa*). De même pour la station CBN03, cette analyse nous a permis de repérer une chute de la richesse taxonomique en 2009 comparativement à 2007 (4 vs 8 *taxa*, respectivement). D'autre part, l'ACP menée sur l'abondance des espèces collectées au droit des différentes stations, nous a quant à elle confirmé la répartition atypique des stations CBN03 et CBN04 en 2009. Elle nous a également permis de constater la présence de différences au sein de l'abondance des différentes espèces présentes au droit de la station estuarienne CBN07 entre l'année 2007 et 2009.

Si nous procédons à une analyse plus poussée des résultats faunistiques acquis lors des 2 campagnes effectuées lors de l'automne austral (mai-juin), nous pouvons en effet constater une perte au sein de la communauté (coefficient de perte = 0,83), liée à l'absence de certaine espèce en 2009 (15 vs 10 *taxa* en 2007 et 2009 respectivement en ne considérant pas les espèces marines dont la présence est aléatoire). Les différents coefficients de similitude (Jaccard) ou dissimilitude (Bray-Curtis), proches de 30 %, nous indiquent un faible degré de similitude des communautés ichthyennes présentes en 2007 et 2009 au droit de la station CBN07 ($J = 0,31$ et $BC = 0,67$). Si nous revenons maintenant en détail sur la structure des populations de chacun des principaux *taxa* collectés au droit de CBN07 en juin 2009, nous pouvons constater la présence de modifications comparativement à 2007. En effet, alors qu'en 2007, l'ensemble des cohortes (alvins, adultes) étaient représentées au droit de cette station pour chacune de ces espèces (cf. Fig. 29), nous observons en 2009 des populations où les cohortes d'adultes sont absentes ou faiblement représentées (Cf. Fig. 29). Par exemple, l'espèce *K. rupestris* qui domine les communautés piscicoles du creek de la Baie Nord, est en 2009 uniquement représentée par des juvéniles issus de la dernière reproduction, au droit de la zone estuarienne. Aucun représentant des cohortes d'adultes observés en 2007 n'a été observé. Le même *pattern* est observé pour le genre *Eleotris*, pour lequel une population composée uniquement de juvéniles est observée en 2009, alors qu'en 2007 cette dernière était plutôt composée de cohortes d'adultes. Notons que l'absence de la cohorte des juvéniles en 2007 semble nous indiquer que leur arrivée dans les creeks s'effectuerait sur le mois de juin.

	CBN07 2007	CBN07 2009
<i>Awaous guamensis</i>	17	
<i>Awaous ocellaris</i>		6
<i>Anguilla australis</i>	1	
<i>Anguilla reinhardtii</i>	7	
<i>Anguilla marmorata</i>	7	15
<i>Anguilla obscura</i>	1	
<i>Anguilla megastoma</i>		
<i>Eleotris</i> sp	42	17
<i>Glossobius biocellatus</i>	1	
<i>Glossobius celebius</i>		2
<i>Kuhlia marginata</i>	16	57
<i>Kuhlia munda</i>	19	
<i>Kuhlia rupestris</i>	37	135
<i>Protogobius attiti</i>		
<i>Redigobius bikolanus</i>	3	31
<i>Sicyopterus sarasini</i>	1	3
<i>Sicyopterus lagocephalus</i>		6
<i>Schismatogobius fuligineus</i>		30
<i>Cestraeus oxyrhynchus</i>	16	
<i>Cestraeus plicatilis</i>	15	
<i>Crenimugil crenilabis</i>	13	
	15 sp	10 sp

Tableau 7 : liste faunistique des communautés ichthyennes présentes au droit de la station estuarienne CBN07 en mai 2007 et juin 2009 (source Vale-Inco NC).

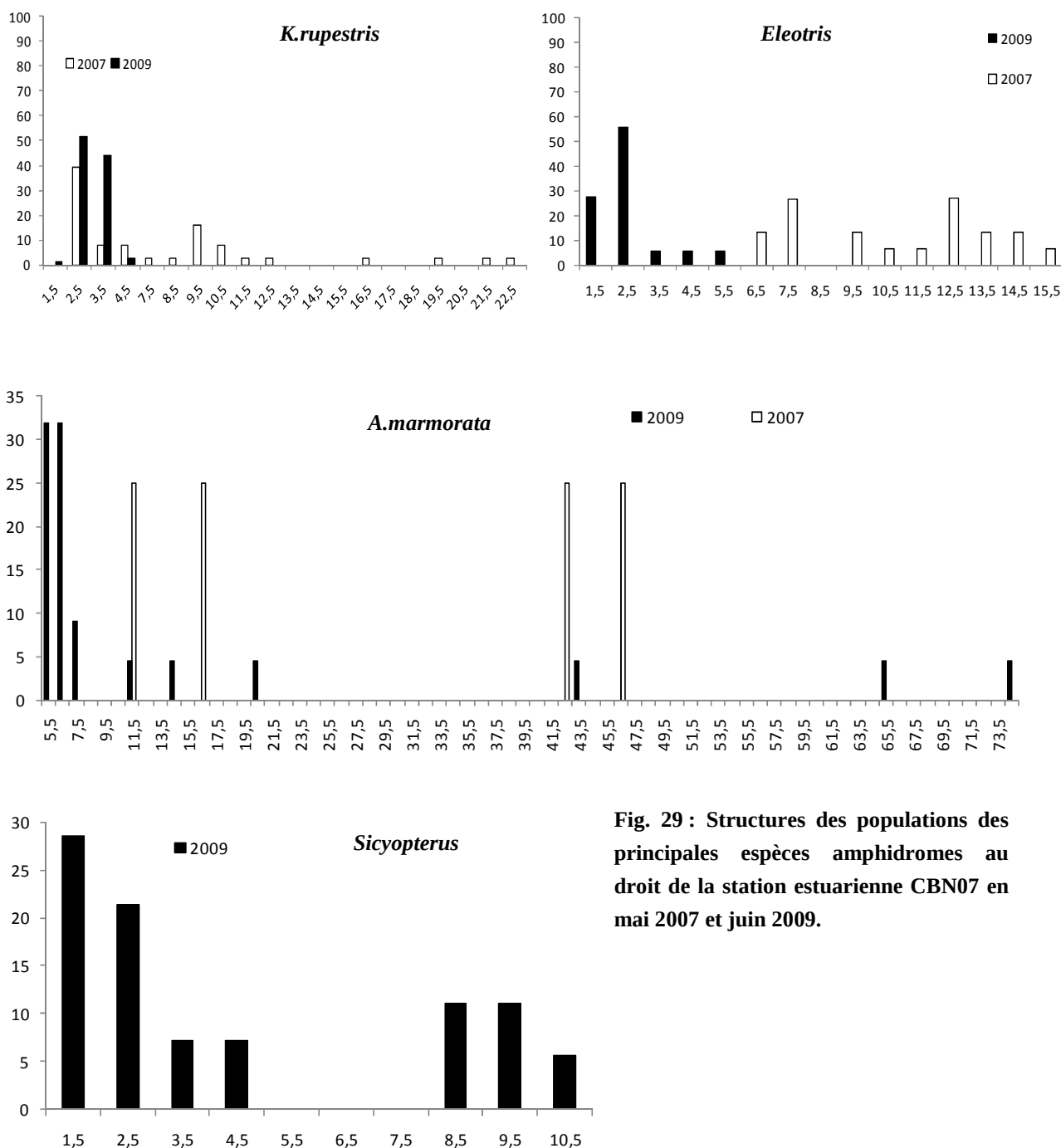


Fig. 29 : Structures des populations des principales espèces amphidromes au droit de la station estuarienne CBN07 en mai 2007 et juin 2009.

Pour d'autres *taxa* tel le genre *Sicyopterus* ou l'espèce *A. marmorata*, il est intéressant de noter la présence d'adultes aux côtés de la cohorte des juvéniles en juin 2009. Notons que des adultes ont également été observés au niveau de la station CBN03 localisée plus en amont pour ces *taxa*, mais également pour l'espèce *K. rupestris*.

Cette structure atypique des populations explique également les faibles richesses spécifiques observées pour l'année 2009 au droit des stations localisées plus en amont sur le cours inférieur du creek, zones peuplées par les cohortes d'adultes. A ce niveau il est également important de noter que l'espèce *P. attiti*, dont seule la cohorte des adultes a été observée depuis 2000 au droit des

différentes stations du réseau de suivi du creek de la Baie Nord, n'a pas été observée lors de la campagne de juin 2009. Ce résultat est en accord avec les résultats précédents dénotant d'une altération des communautés ichthyennes en juin 2009, altération qui a uniquement touché les cohortes adultes mûres ou immatures.

Rappelons à ce niveau que suite à l'incident survenu début avril 2009 au droit du site de VALE-INCO NC, la perte accidentelle d'acide sulfurique et son arrivée au sein du creek, a entraîné une importante mortalité au sein des communautés ichthyennes (plus de 2 000 spécimens morts recensés). Cet épisode de mortalité accru a eu lieu au mois d'avril, période située entre la phase de reproduction, qui comme nous l'avons vu apparaît située pour les différents *taxa* lors du printemps austral, et la période de colonisation des creeks par la juvéniles (période de recrutement), que nous avons identifiée au mois de mai-juin, lors de l'automne austral sur le creek de la Baie Nord. Cet épisode de mortalité a donc touché uniquement les cohortes d'adultes, les larves issues de la phase de reproduction du printemps austral 2008 étant en mer au moment du passage de la vague acide et apparaît seul à l'origine de la déstructuration observée en juin 2009.

	2001	2002	2008	2004	2007	2009
Période station	décembre CBN01, CBN03, CBN04, CBN07	décembre CBN01, CBN04	novembre CBN03 CBN6-U	mai CBN01, CBN04, CBN05 CBN6-U, CBN07	mai CBN01, CBN03, CBN04, CBN07	juin CBN01, CBN03, CBN04, CBN07
<i>Awaous guamensis</i>		4	19	3	43	
<i>Awaous ocellaris</i>			3			9
<i>Anguilla australis</i>		1			1	
<i>Anguilla reinhardtii</i>	1	3	1		8	3
<i>Anguilla marmorata</i>		1	3	5	11	18
<i>Anguilla obscura</i>	1				1	
<i>Anguilla megastoma</i>			5		1	
<i>Eleostis sp</i>	2		9	25	57	17
<i>Glossobius biocellatus</i>					1	
<i>Glossobius celebius</i>	2					2
<i>Kuhlia marginata</i>				1	17	57
<i>Kuhlia munda</i>		4		9	19	
<i>Kuhlia rupestris</i>		6	37	32	63	146
<i>Protogobius attiti</i>			5	2	26	
<i>Redigobius bikolanus</i>	6		10	1	3	31
<i>Sicyopterus sarasini</i>					1	3
<i>Sicyopterus lagocephalus</i>	2	1	39	1		8
<i>Schismatogobius fuligineus</i>						30
<i>Cestraeus oxyrhynchus</i>	4	1		4	16	
<i>Cestraeus plicatilis</i>	1	4			15	
<i>Crenimugil crenilabis</i>				5	13	
	8 sp	9 sp	10 sp	11 sp	17 sp	11 sp

Tableau 8 : liste faunistique des communautés ichthyennes observées au droit du bassin versant du creek de la Baie Nord entre décembre 2001 et juin 2009 (source Vale-Inco NC).

En conclusion de ce paragraphe relatif à l'analyse de l'évolution des communautés ichthyennes du creek de la Baie Nord suite à l'entrée en phase chantier du projet VALE-INCO NC, il apparaît que le jeu de données collectées ne permette pas de détecter d'altération notable de la communauté piscicole, outre celle liée à la fuite d'acide survenue en avril 2009. En effet, comme nous pouvons le constater à la lecture du tableau 8 ci-dessus, entre 2001 et 2009, nous pouvons observer un nombre de *taxa* amphidromes ou catadromes oscillant autour de 9 espèces lors du printemps austral (novembre-décembre) et variant entre 11 et 17 espèces lors de l'automne austral (mai-juin). L'analyse développée ci-dessus nous a montré que les structururations spatiales et temporelles des communautés ichthyennes influencent fortement les métriques habituellement utilisées pour décrire les richesses et abondances des communautés présentes au sein du creek. Or comme nous avons pu le constater le suivi de l'ichthyofaune au sein du bassin versant du creek de

la Baie Nord a été effectué lors de saisons différentes et au droit de stations différentes au cours des différentes années de suivi. Ces différences rendent dès lors difficile la comparaison stricte des résultats obtenus et la matérialisation d'un effet potentiel du projet sur la faune piscicole. Nous pouvons toutefois constater qu'entre 2001 et 2007-2008, aucune disparition d'espèce n'est à constater.

D'autre part les communautés piscicoles présentes en 2007 et 2008 au sein du creek présentent une bonne structuration de leur population : les cohortes de juvéniles entrant dans le creek en mai 2007 apparaissent abondantes et plusieurs cohortes d'adultes sont observées dénotant un maintien de ces populations au sein du creek où elles effectuent leur développement. L'altération de cette structuration observée en 2009 au travers la disparition ou la diminution des abondances des cohortes d'adultes, nous est apparue comme le seul impact notable de la perte d'acide survenue au droit de l'usine en avril 2009. A ce niveau nous pouvons revenir sur le cas particulier de l'espèce endémique *P. attiti*, pour laquelle seules les cohortes d'adultes reproducteurs ont été observées au sein du creek entre 2001 et 2008, les cohortes de juvéniles n'ayant jamais été collectées. Cette absence de juvéniles au droit des stations de suivi explique le fait que cette dernière ne soit pas observée en 2009, période suivant l'épisode de décimation des cohortes d'adultes. Nous pouvons toutefois supposer du fait du maintien de cette espèce entre 2001 et 2008 au sein du creek de la Baie Nord, que les juvéniles doivent être présents au niveau de zones non prospectées.

5 CONCLUSION GENERALE

En conclusion de ce travail de synthèse effectué sur l'ensemble du jeu de données physico-chimiques et biologiques collectées depuis 2000 le long du réseau de suivi de la Baie Nord, nous reviendrons essentiellement sur la caractérisation de l'impact du chantier du Projet VALE-INCO NC sur la qualité écologique du Creek, principal objectif de ce travail.

Les principaux impacts attendus et identifiés par les études d'impact successives menées sur le projet, sont en phase de construction :

- La modification des débits du creek ;
- Une augmentation de la charge particulaire transportée par ce dernier ;
- Une modification de la qualité physico-chimique des eaux liée aux différents rejets.

Concernant la modification éventuelle des débits du creek, l'analyse de l'évolution des débits mesurés entre 2006 et 2009 nous a permis de montrer que ce dernier ne présente pas de différence significative avec le débit naturel estimé. L'analyse de ces données nous a également permis de constater la présence de conditions hydrologiques inhabituelles à partir du second semestre 2007 et ce jusque début 2009.

Concernant l'influence du projet sur l'importance de la charge particulaire véhiculée par le creek, l'analyse de l'ensemble du jeu de données physico-chimiques collecté au droit des différentes stations de suivi, ne nous a pas permis de mettre en évidence de manière certaine, sur la base des concentrations en MES mesurées, à une éventuelle augmentation de celle-ci. Notons que l'augmentation des concentrations en MES liée aux événements pluvieux, apparaît limitée à une brève période, un retour à des valeurs inférieures à 5 mg/L étant rapidement constaté. Toutefois l'augmentation significative des concentrations en Mg et Si constatée à partir du second semestre 2006 au droit des stations localisées sur le cours inférieurs du creek, en aval proche du site de l'usine, laisse supposer une augmentation des phénomènes d'érosion et de lessivage des sols de la zone amont du bassin versant. L'indice IBS conçu récemment afin de caractériser les altérations d'origine minérale au sein des cours d'eau à partir de l'étude des communautés benthiques, indique la présence depuis 2002 d'une altération minérale qualifiant la qualité biologique du creek de mauvaise à passable. Notons qu'aucune évolution notable de cet indice n'a été constatée entre 2002 et 2009. Cet indice étant toujours en cours de validation nous resterons donc très prudents quant aux résultats fournis par celui-ci.

Concernant l'influence des rejets des différents effluents du projet au sein du creek, nous avons pu constater au travers l'analyse des différents jeux de données :

- qu'en ce qui concerne le rejet des eaux traitées par la station d'épuration de la base-vie qui eu lieu entre 2005 et janvier 2008, les données physico-chimiques fournies ne mettent pas en évidence un impact de ce rejet sur les concentrations en nitrates au sein du creek lors de cette période. Par contre l'analyse des données faunistiques relatives aux communautés d'invertébrés nous ont permis de constater la présence d'altération lors des périodes d'étiage 2006 et 2007, altération d'origine organique liée au rejet de

la STEP. Cette altération est néanmoins restée modérée et n'a concerné que les périodes durant lesquelles le débit du creek ne fut plus suffisant pour assurer une bonne dilution du rejet, comme en témoigne le retour à des valeurs plus élevées des différentes métriques descriptives des communautés lors des saisons humides.

- Qu'en ce qui concerne le rejet des eaux de refroidissement de Prony Energie, les analyses physico-chimiques effectuées au droit du creek ont révélé la présence d'augmentation des concentrations en phosphates lors des étiages 2008 et 2009. Ces augmentations en éléments nutritifs constatées uniquement au niveau du cours inférieur au travers des données physico-chimiques, ont eu des répercussions sur les zones aval. En effet, l'analyse des communautés benthiques a permis de constater lors de ces deux étiages la présence d'altération organique affectant la qualité biologique du creek. Cette altération est restée modérée en 2008, du maintien de débit plutôt élevés pour la saison, elle a été plus sévère en 2009 où la saison d'étiage a été particulièrement sèche. Comme pour le rejet de la STEP, il apparaît qu'en saison humide les débits plus importants, en augmentant le degré de dilution de l'effluent, permettent un retour à la normale de la situation.

Concernant l'effet de ces altérations sur les communautés ichthyennes du creek, l'analyse du jeu de données collectées le long du réseau de suivi ne révèle pas la présence d'effet notable. L'ensemble des variations observées apparaissent plutôt liées à la variabilité naturelle induite par les migrations de la faune ichthyenne amphidrome des creeks calédoniens. La présence de ces variations impose d'avoir un réseau de suivi bien défini et de s'y tenir pour permettre ensuite une bonne interprétation des données.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE N°1	:	Station Baie Nord 100 : prélèvement 2002.
ANNEXE N°2	:	Plans du site

ANNEXE 1

Station Baie Nord 100 : Prélèvements 2002

(source DAVAR)

3.1.27. Station Baie Nord 100

Caractéristiques mésologiques de la station (Hytec, 2002)

Rivière : BAIE NORD Date : 02.07.2002 Heure : 10h30
 Station : BNOR 100 au niveau de la station KADJI suivie par INCO tous les 3 mois
 Coordonnées GPS WGS 84 : X=693 967 Y=7 529 404
 IGN 72 : X=693 358 Y=7 529 069
 Situation : cours supérieur, cours moyen, cours inférieur, plateau, plaine
 Conditions climatiques durant l'échantillonnage : nuages, pluie, soleil.....

Environnement global de la station	maquis minier (aval usine pilote)	
Largeur minimale à la station (m)	0.40 m	
Largeur maximale à la station (m)	5 m	
Profondeur minimale à la station (m)	0.05 m	
Profondeur maximale à la station (m)	1 m	
Structure des berges	RD: naturelle boisée + petite érosion RG: naturelle boisée + layon d'accès à la rivière	
Pente des berges	RD : faible RG : faible	
Importance du chenal d'étiage par rapport au lit mineur	lit mineur = 5 m 100%	
Type de la végétation riveraine	RD: maquis minier RG: maquis minier	
Pourcentage de couverture des rives par la végétation riveraine	RD: 95% (petite zone d'érosion) RG: 95% (layon d'accès)	
Pourcentage d'ombrage du cours d'eau (milieu ouvert, mi-ouvert, fermé)	0%	
Eau claire, trouble, très trouble, Couleur à préciser	pH : 7.91 température : 20.6 °C	Conductivité : 118 µS/cm température : 20.8 °C
Etalonnage (02.07.02 à 06h00): pH: pente=-58.9 mV/pH asymétrie=-16mV, (symbole sonde ++) O ₂ : pente=0.80 (+++), χ : 0.479 cm ⁻¹ (+++)	Etalonnage (02.07.02 à 21h00): pH: pente=-58.9 mV/pH, , asymétrie=-16mV (symbole sonde ++) O ₂ : pente=0.82 (+++), χ : 0.475 cm ⁻¹ (+++)	Oxygène dissous après étalonnage (s=0.80,+++): 9.70 mg/l – 100.6% température : 20.6 °C
Vitesse du courant sur la station	rapide	
Type de substrat (% de recouvrement sur la station à définir)	% roches/blocs 80% % cailloux/galets 10%	% graviers/sables 10% % vase/limons 0%
Etat du substrat	couvert de dépôts latéritiques	
Matière organique végétale	faible : feuilles + troncs	
Matière organique animale ?	non	
Végétaux aquatiques et algues vertes filamenteuses	non	% de recouvrement sur la station 0%

Prélèvements de faune benthique avec filet surber X et petit filet O (Hytec, 2002)

	Vitesse du courant	Cascade	Rapide	Moyenne	Faible
Support					
1 Bryophytes					
2 Autres plantes aquatiques					
3 Eléments organiques grossiers (litières, branchages, racines) tronc + feuilles				O	
4 Cailloux / galets					X
5 Graviers					
6 Roche mère / Blocs		O	O X		
7 Vase					
8 Sable et limon					

NATHALIE MARY
 HYDROBIOLOGISTE
 Siret : 442 556 007 00015

DAVAR
 SESER - ORE
 Qualité biologique
 des rivières en 2002
 Mai 2003 – Rapport final

Remarques : il ne semble rien y avoir dans le prélèvement de benthos

10h40 : prélèvement en amont de la petite cascade en aval de la station (voir photo) de 5 flacons (en verre : bactério, hydrocarbure ; en plastique : physico chimique, métaux filtrés avec seringue + filtre millipore 71et non filtrés) pour analyse complète (métaux filtrés non analysés à la demande de la DAVAR).

Résultats biologiques de la station Baie Nord 100

Embranchement	Classe / sous-classe	Ordre	Famille	Genre et espèce	Classe d'abondance
Arthropodes	Crustacés	Décapodes	Atyidae*		1
	Malacostracés				
	Insectes	Ephéméroptères	Leptophlebiidae	<i>Lepeorus* spp.</i>	2
	Ptérygotes			<i>Paraluma* spp.</i>	1
		Diptères	Chironomidae	Chironomini*	1
				Tanytarsini* spp.	1
				Orthoclaadiinae* spp.	2
			Simuliidae	<i>Simulium neornatipes</i>	1
		Trichoptères	Ecnomidae*		1
			Hydroptilidae*	<i>Oxyethira spp.</i>	1
			Hydropsychidae		1

1: 1 à 3 individus, 2: 4 à 20 individus, 3: 21 à 100 individus, 4: 101 à 500 individus, 5: > 500 individus ; *taxon pris en compte dans le calcul de l'indice biotique.

Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie (IBNC) = 5,00

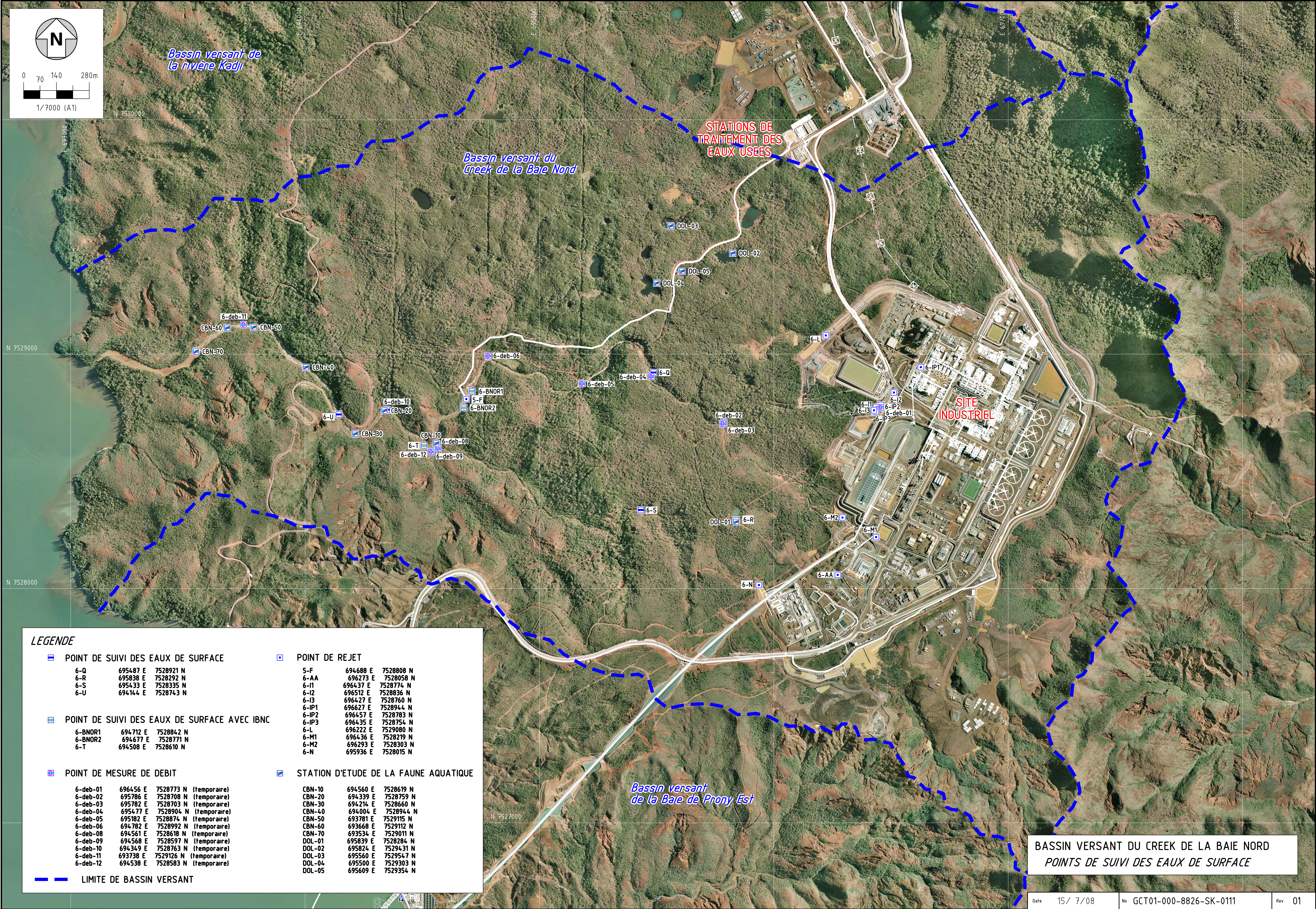
QUALITE BIOLOGIQUE PASSABLE

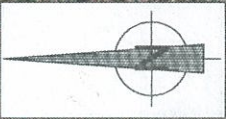
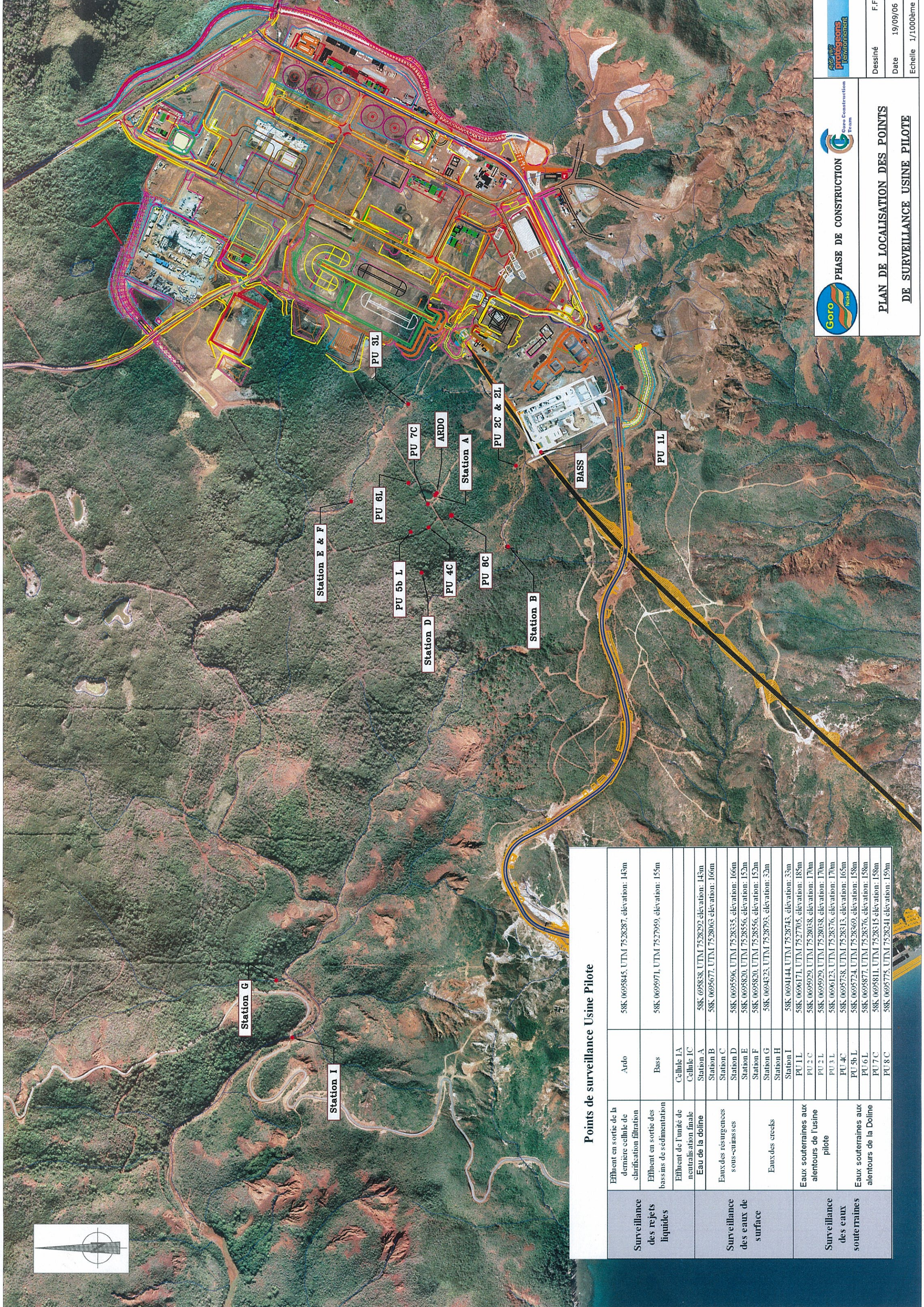
NATHALIE MARY
HYDROBIOLOGISTE
Siret : 442 556 007 00015

DAVAR
SESER - ORE
Qualité biologique
des rivières en 2002
Mai 2003 – Rapport final

ANNEXE 2

Plans du site





Points de surveillance Usine Pilote		
Surveillance des rejets liquides	Effluent en sortie de la dernière cellule de clarification filtration	Ardo 58K 0695845, UTM 7528287, élévation: 143m
	Effluent en sortie des bassins de sédimentation	Bass 58K 0695971, UTM 7527959, élévation: 155m
Surveillance des eaux de surface	Effluent de l'unité de neutralisation finale	Cellule 1A
	Eau de la doline	Cellule 1C
	Eaux des résurgences sous-cuirasses	Station A 58K 0695838, UTM 7528292, élévation: 143m
		Station B 58K 0695677, UTM 7528063, élévation: 166m
		Station C 58K 0695596, UTM 7528335, élévation: 166m
		Station D 58K 0695820, UTM 7528556, élévation: 152m
	Eaux des creeks	Station E 58K 0695820, UTM 7528556, élévation: 152m
		Station F 58K 0695820, UTM 7528556, élévation: 152m
		Station G 58K 0694523, UTM 7528793, élévation: 32m
		Station H 58K 0694523, UTM 7528793, élévation: 32m
Surveillance des eaux souterraines	Eaux souterraines aux alentours de l'usine pilote	Station I 58K 0694144, UTM 7528743, élévation: 33m
		PU 1 L 58K 0696171, UTM 7527705, élévation: 185m
		PU 2 C 58K 0695929, UTM 7528038, élévation: 170m
		PU 2 L 58K 0695929, UTM 7528038, élévation: 170m
	Eaux souterraines aux alentours de la Doline	PU 3 L 58K 0696123, UTM 7528376, élévation: 170m
		PU 4 C 58K 0695738, UTM 7528313, élévation: 165m
		PU 5b L 58K 0695724, UTM 7528369, élévation: 158m
		PU 6 L 58K 0695877, UTM 7528376, élévation: 158m



PHASE DE CONSTRUCTION

Protegeons l'environnement

Dessiné

F.F

Date

19/09/06

Echelle

1/1000ème

PLAN DE LOCALISATION DES POINTS

DE SURVEILLANCE USINE PILOTE