

## Suivi de la remédiation des communautés de macro-invertébrés benthiques du creek de la Baie Nord suite à l'incident du 01 avril 2009



AFFAIRE : Contrat 5040  
DATE : Juillet 2010

## Synthèse

# AVANT-PROPOS

Suite à une défaillance d'un des joints de l'unité de production d'acide sulfurique du site industriel de VALE NC, une fuite de produit vers l'environnement a été constatée. Cet écoulement accidentel a gagné le creek de la Baie Nord qui reçoit après traitement les eaux de ruissellement du site. Soixante douze heures après l'incident, la campagne menée au droit de six stations de mesure localisées le long du creek en aval du site avait permis de quantifier les effets de ce déversement sur les communautés de macro-invertébrés benthiques. Les résultats de cette campagne avaient en effet montré que le passage de la « vague acide » et la chute de pH engendrée avaient entraîné la disparition de la quasi-totalité de la macro faune d'invertébrés benthiques, seuls quelques spécimens de *taxa* évoluant dans les sédiments (*Ceratopogoninae*) étant encore présents.

Les effets de cette pollution ont été, certes aigus, mais brefs : 48 h après l'incident les pH mesurés au sein de la colonne d'eau du creek étaient revenus à la normale et aucun effet rémanent du produit n'était constaté. Suite à ce retour à la « normale » des conditions abiotiques du creek et afin de caractériser dans sa globalité l'impact généré par cet incident, il restait donc à évaluer la cinétique et le degré de recolonisation de ce dernier par les biocénoses aquatiques, cette dernière évaluation permettant *in-fine* d'estimer si l'incident avait uniquement occasionné une déstructuration des communautés et une perte de biodiversité temporaire ou si des effets écologiques et pertes définitives d'espèces étaient à déplorer.

Afin de procéder à cette évaluation Vale NC a déployé suite à l'incident un plan d'action permettant de répondre aux objectifs précités. Le volet attenant aux communautés d'invertébrés benthiques de ce plan d'action fut confié au bureau d'ingénierie-conseil en environnement Biotop et consista en un suivi mensuel de ces communautés au droit des six stations expertisées lors de la campagne ayant permis de constater l'impact immédiat de l'incident. Le présent rapport constitue la synthèse des différentes campagnes de suivis menés dans le cadre de cette évaluation.

En première partie de ce document, la synthèse des connaissances sur les effets de l'acide sulfurique sur l'environnement présentée dans le cadre du rapport de constat d'impact est reprise pour mémoire. Suivent respectivement la présentation du matériel et méthodes utilisés pour procéder à cette évaluation, les résultats et l'interprétation de ces derniers aux regards des connaissances acquises précédemment ou en parallèle sur les communautés benthiques des creeks drainant les plateaux ultramorphiques du Grand Sud néo-calédonien.

Synthèse

## SOMMAIRE

|                 |                                                                                                              |                  |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>1</u></b> | <b><u>SYNTHESE DES CONNAISSANCES SUR L'EFFET DE L'ACIDE SULFURIQUE SUR LES COMMUNAUTES DULÇAQUICOLES</u></b> | <b><u>3</u></b>  |
| 1.1             | DEFINITION DU PRODUIT                                                                                        | 3                |
| 1.2             | COMPORTEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT                                                                            | 4                |
| <b><u>2</u></b> | <b><u>MATERIEL ET METHODE</u></b>                                                                            | <b><u>6</u></b>  |
| 2.1             | LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES DIFFERENTES STATIONS                                                           | 6                |
| 2.2             | METHODE D'ECHANTILLONNAGE                                                                                    | 7                |
| 2.3             | SUIVI DE L'ETAT DE STRUCTURATION DES COMMUNAUTES                                                             | 10               |
| <b><u>3</u></b> | <b><u>RESULTATS</u></b>                                                                                      | <b><u>12</u></b> |
| 3.1             | EVOLUTION DE LA RICHESSE TAXONOMIQUE ET DE LA DIVERSITE BIOLOGIQUE SUITE A L'INCIDENT                        | 12               |
| 3.2             | EVOLUTION DU DEGRE DE STRUCTURATION DES COMMUNAUTES                                                          | 19               |
| <b><u>4</u></b> | <b><u>DISCUSSION</u></b>                                                                                     | <b><u>24</u></b> |
| 4.1             | LA BIODIVERSITE                                                                                              | 24               |
| 4.2             | EVOLUTION DES NOTES INDICIELLES                                                                              | 30               |
| <b><u>5</u></b> | <b><u>CONCLUSIONS</u></b>                                                                                    | <b><u>32</u></b> |

## Synthèse

# 1 SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SUR L'EFFET DE L'ACIDE SULFURIQUE SUR LES COMMUNAUTÉS DULÇAQUICOLES

## 1.1 DEFINITION DU PRODUIT

L'acide sulfurique concentré est un liquide incolore et inodore. Notons que la présence d'impuretés le colore souvent en jaune brun. Au contact de l'air et à température ambiante, il émet des vapeurs toxiques invisibles. A partir de 30°C, il émet des vapeurs lourdes, blanchâtres et piquantes. L'acide sulfurique est utilisé dans diverses activités industrielles dont notamment :

- la fabrication d'engrais (superphosphates),
- l'industrie des textiles artificiels,
- le décapage en sidérurgie,
- le lessivage des minerais,
- l'industrie pétrolière, ...

Le tableau ci-dessous synthétise les caractéristiques physiques de l'acide sulfurique :

|                             |                                                                                                                  |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Masse molaire               | 98,08 g/mol (INRS, 1997)                                                                                         |
| Point d'ébullition à 1 atm  | 335°C (98 %) (FDS Arkema, 2003)                                                                                  |
| Point de congélation        | -15°C (94 à 96%) (FDS Arkema, 2003)<br>-10°C/+5°C (97%) (FDS Arkema, 2003)<br>+ 5°C (98%) (FDS Arkema, 2003)     |
| Température critique        | Sans objet                                                                                                       |
| Densité relative (eau = 1)  | 1,84 à 20°C (93 à 100%) (SIDS OCDE, 2001)                                                                        |
| Densité de vapeur (air = 1) | 3,4 (ICSC, 2000)                                                                                                 |
| Solubilité dans l'eau douce | Soluble à 20°C avec dégagement de chaleur (FDS Arkema, 2003)                                                     |
| Pression/Tension de vapeur  | < 0,001 hPa à 20°C (DIPPR, 2005)                                                                                 |
| pH de la solution           | Très acide (< 1 (94 à 98%) (FDS Arkema, 2003, FDS Grande Paroisse, 2003)                                         |
| pK <sub>a</sub>             | 1 <sup>ère</sup> acidité pK <sub>a</sub> < 0<br>2 <sup>ème</sup> acidité pK <sub>a</sub> = 1,92 (SID OCDE, 2001) |
| Viscosité à 25°C            | 21 mPa.s (Environnement Canada Enviroguide, 1984)                                                                |
| Seuil olfactif dans l'air   | > 0,25 ppm (1 mg/m <sup>3</sup> ) (Environnement Canada Enviroguide, 1984)                                       |

(Les différentes sources sont citées entre parenthèses)



## Synthèse

### 1.2 COMPORTEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT

#### 1.2.1 ECOTOXICITE DE L'ACIDE SULFURIQUE

Les données écotoxicologiques énoncées ci-après sont issues du guide d'intervention chimique élaboré par le Cedre<sup>1</sup> :

| Ecotoxicité aiguë                          |                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Crustacé ( <i>Daphnia magna</i> )          | CE <sub>50</sub> (24H) = 29 mg/L (eau douce)                                                                                                                                                                     |
| Poisson ( <i>Brachydanio rerio</i> )       | CL <sub>50</sub> (24H) = 82 mg/L (eau douce)                                                                                                                                                                     |
| Poisson ( <i>Lepomis macrochirus</i> )     | CL <sub>50</sub> (48H) = 49 mg/L (eau douce)                                                                                                                                                                     |
| Poisson ( <i>Pleuronectes platessa</i> )   | CL <sub>50</sub> (48) = 100 à 330 mg/L (eau marine)                                                                                                                                                              |
| Ecotoxicité chronique                      |                                                                                                                                                                                                                  |
| Algue ( <i>Gymnodium sp.</i> )             | NOEC à pH 5,6 = 0,13 mg/L                                                                                                                                                                                        |
| Insecte ( <i>Tanytarsinus dissimilis</i> ) | NOEC (35 jours) = 0,15 mg/L (eau douce)                                                                                                                                                                          |
| Poisson ( <i>Jordanella floridae</i> )     | NOEC = 0,025 mg/L (eau douce)                                                                                                                                                                                    |
| Poisson ( <i>Salvinus fontinalis</i> )     | NOEC <sub>survie embryonnaire</sub> = 0,31 mg/L à pH 5,2 (eau douce)<br>NOEC <sub>survie embryonnaire</sub> = 0,15 mg/L à pH 5,5 (eau douce)<br>NOEC <sub>poids à 10 mois</sub> = 0,13 mg/L à pH 5,5 (eau douce) |
| Etudes en mésocosmes                       |                                                                                                                                                                                                                  |
| Poissons ( <i>Salvinus fontinalis</i> )    | NOEC = 0,13 mg/L à pH 5,56 (eau douce)                                                                                                                                                                           |
| Phytoplancton                              | NOEC = 0,13 mg/L à pH 5,6 (eau douce)                                                                                                                                                                            |
| Poisson de lac                             | NOEC = 0,0058 mg/L à pH 5,93 (eau douce)                                                                                                                                                                         |

Usuellement en écotoxicologie, à partir de ce qui a pu être déterminé expérimentalement par des essais en laboratoire : les CL<sub>50</sub> (Concentration Létale pour 50% de la population) ou les NOEC (No Observed Effect Concentration), sont extrapolés l'impact potentiel ou le risque pour l'environnement représenté par le produit étudié (NOEC<sub>impact</sub> ou PNEC (Predicted no effect concentration)). Cette valeur est déduite en appliquant un facteur de sécurité adéquat aux doses (CL<sub>50</sub>, NOEC<sub>essai</sub>,...) déterminées expérimentalement (Rivière 2006). Le facteur de sécurité appliqué permet ainsi d'intégrer au sein de la PNEC, l'ensemble des causes de variabilité existant dans l'environnement (facteurs abiotiques et biotiques).

Dans le cas de l'acide sulfurique, aucune PNEC ne peut être dérivée puisque le pouvoir tampon, le pH et sa fluctuation sont spécifiques à l'écosystème considéré. Il est, en d'autres termes, impossible de déterminer un facteur de sécurité universel tenant compte de l'ensemble des situations rencontrées. Pour estimer l'effet de l'acide sur l'environnement, le pH du milieu récepteur doit être mesuré ou calculé. **Il faut toutefois préciser que la variation d'une unité de pH peut affecter la faune et la flore.**

<sup>1</sup> Cedre : Centre de Documentation, de recherche et d'expérimentation sur les pollutions accidentelles des eaux

## Synthèse

En ce qui concerne le processus de bioaccumulation de l'acide sulfurique par les différents maillons biocénotiques aquatiques, il est important de noter que ce processus n'existe pas : **aucune bioaccumulation n'a été observée** (Cedre). **De même, aucune bioamplification le long des réseaux trophiques aquatiques n'existe.**

### 1.2.2 RISQUE POUR L'ENVIRONNEMENT

Nous venons de voir que le principal risque écotoxique lié au déversement d'acide sulfurique dans le milieu est principalement lié à la modification du pH engendrée par ce dernier. Dans l'environnement et notamment dans l'environnement aquatique, l'acide sulfurique étant un acide fort, il va, dès son entrée en contact avec l'eau, se dissoudre totalement en ions sulfates et en ion hydronium ( $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$ ). C'est la formation de ce dernier composé qui va entraîner la chute du pH. Notons que cette réaction provoque un dégagement de chaleur qui, si elle se produit en surface ou à de faibles profondeurs, peut porter l'eau à ébullition. Cependant étant donné la forte densité de cet acide ( $d=1,84$ ), il coule en l'absence d'agitation (Cedre, 2006).

Son écotoxicité sur les biocénoses aquatiques est donc avant tout liée à son effet sur le pH du milieu. De manière générale, les différentes études menées en milieu tempéré ont montrée que les poissons d'eau douce ne survivent pas s'ils sont exposés plusieurs heures à un pH inférieur à 4,5. Certaines espèces d'anguilles et de saumons des fontaines peuvent néanmoins supporter des pH voisins de 4 (Cedre, 2006). En ce qui concerne les insectes aquatiques, composante principale des communautés d'invertébrés benthiques, certaines espèces sensibles disparaissent dès que le pH devient inférieur à 5,5 (Cedre, 2006).

L'effet de l'acide sur le pH et donc indirectement sur les biocénoses, va dépendre du pouvoir tampon du milieu aquatique récepteur. Le pouvoir tampon d'un milieu est sa capacité à maintenir son pH à l'état de référence ou voisin de ce dernier. Il dépend du degré de minéralisation du milieu, c'est-à-dire de sa concentration en sel (Massabau, 1994). En effet en milieu minéralisé un acide peut réagir avec les différents sels présents pour donner un autre acide volatil et un nouveau sel : ainsi l'équilibre acide-base reste stable (le pH n'est pas modifié). Ceci explique d'ailleurs le fort pouvoir tampon de l'eau de mer.

Dans le cas des creeks néo-calédoniens, il faut souligner le faible degré de minéralisation des eaux (oscille généralement entre 50 et 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et donc leur faible pouvoir tampon. **Le déversement d'un acide (ou d'une base) aura donc tendance à rapidement modifier le pH du milieu.** Seul l'effet de dilution pourra réduire l'effet de l'acide. Il est également important de mentionner le fait que, dans certains parties des creeks calédoniens, le pH peut naturellement avoisiner 4,3 (Dominique, obs. pers.<sup>2</sup>). Ces eaux correspondent à des eaux d'infiltration

<sup>2</sup> Observation faite entre autre sur le site minier de Vale-Inco (station 4M).

## Synthèse

superficielle (écoulement sous cuirasse), qui ressurgissent en surface et s'écoulent ensuite sur la cuirasse. Elles présentent un profil d'eau de pluie (faible minéralisation et pH voisin de 4,5). Notons que ces milieux, malgré un faible pH, sont colonisés par certains *taxa* d'invertébrés benthiques tels des larves d'Odonates de la famille des *Megapodagrionidae*, ou des larves de Diptères de la famille des *Chironomidae* (*orthocladinae* ou *tanitarsini*).

Comme nous l'avons vu ci-dessus, l'acide sulfurique ne se bioaccumule et ne se bioamplifie pas le long des réseaux trophiques aquatiques. Il faut toutefois noter que ce dernier peut en entraînant le relargage des ions métalliques contenus dans les sédiments générer l'apparition de pollution indirecte par les métaux lourds (Cedre, 2006). Notons à ce sujet qu'une des principales causes de létalité identifiée au sein des cours d'eau sujet à une acidification chronique, est liée au relargage d'ion métallique (notamment aluminium) et à leur effet écotoxique sur la faune (Dauvalter, 1995).

Dans le cas de l'incident étudié, il est important de signaler que nous sommes face à une pollution aigüe de faible durée, 24 heures après le déversement accidentel d'acide au sein du creek de la Baie Nord, le pH était revenu à des valeurs proches de la normale. Si nous pouvons supposer qu'un relargage de métaux traces a eut lieu à partir des sédiments du creek naturellement riches en métaux, nous pouvons également supposer que ce phénomène a été de courte durée. Une fois le pH revenu à la normale les métaux relargués se sont recomplexés avec les différents ligands présents en solutions. Il est donc peu probable de constater une augmentation des concentrations en métaux bioaccumulés par les organismes ayant survécu à l'acidification du creek.

## 2 MATERIEL ET METHODE

### 2.1 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES DIFFERENTES STATIONS

Afin de constater l'impact de l'incident sur l'ensemble du linéaire du creek de la Baie Nord, six stations, dont la localisation est détaillée dans le tableau ci-dessous, avaient été retenues. Dans le cadre de cette étude, ces six stations ont été reprises dans un premier temps. Les recommandations de l'expertise menée par EMC<sup>2</sup>I<sup>3</sup> sur l'incident « acide » ont estimé qu'il était nécessaire de disposer d'une station de suivi sur un des affluents non impactés du creek. De plus, la station 6-Q fût, de part sa proximité avec la station 6-T, jugée par ces auteurs non nécessaire. Cette dernière fût

<sup>3</sup> Lethier H, Mary N. et Salvat B., 2009. Suivi de la pollution Vale-Inco du 1<sup>er</sup> avril 2009, rapport d'expertise, septembre 2009, 55pp.

## Synthèse

donc remplacée à partir du mois de septembre 2009 par la station dénommée 6-Aff., localisée sur l'affluent Sud du creek Baie Nord (dernière ligne du tableau ci-dessous).

| Nom de station | Rivière                                                                 | Coordonnées (IGN72)      |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| U-7            | Partie amont du Bras Nord du creek de la Baie Nord                      | E 696 427<br>N 7 528 760 |
| 6-Q            | Bras Nord du creek de la Baie Nord,                                     | E 695 487<br>N 7 528 921 |
| 6-BNOR1        | Bras Nord du creek de la Baie Nord, en amont proche du rejet de la STEP | E 694 712<br>N 7 528 842 |
| 6-T            | Creek baie Nord confluence                                              | E 694 508<br>N 7 528 610 |
| 6-U            | Embouchure du creek de la baie Nord                                     | E 694 536<br>N 7 530 746 |
| 6-deb11        | Embouchure du creek de la Baie Nord                                     | E 693°738<br>N 7 729 126 |
| 6-Aff.         | Affluent Sud du creek Baie Nord                                         | E 694°750<br>N 7 528 500 |

L'ensemble de ces stations sont reportées sur la carte fournie en [annexe 1](#).

L'ensemble de ces stations ont été échantillonnées mensuellement entre le mois d'avril 2009 et le mois d'avril 2010. Le présent rapport synthétise l'ensemble des résultats obtenus entre avril 2009 et janvier 2010. Ces résultats permettent d'ores et déjà de conclure de manière définitive sur la cinétique de remédiation des communautés benthiques suite à l'incident.

Parmi ces stations, il est important de souligner que 2 stations (6T et 6BNOR1) font l'objet d'un suivi régulier depuis 2005 dans le cadre du suivi des communautés d'invertébrés benthiques aquatiques du site de VALE -NC.

## 2.2 METHODE D'ECHANTILLONNAGE

### 2.2.1 PRELEVEMENT

Au regard de la physionomie des cours d'eau calédonien, des études menées précédemment sur la macrofaune benthique de Nouvelle-Calédonie et afin d'être en mesure de fournir à titre indicatif la note IBNC le matériel suivant a été utilisé :

- **Filet Surber** : Le filet surber est constitué d'un cadre métallique qui se déplie en deux sections. Une section sert de support pour le filet à petite maille et l'autre section sert pour délimiter la parcelle échantillon. La section de la parcelle échantillon est de 30 cm par 30

## Synthèse

cm, soit 900 cm<sup>2</sup>. La méthode de travail consiste à placer le filet face au courant et à frotter l'ensemble des roches contenues dans la parcelle échantillon.

- **Filet troubleau** : Le filet troubleau est constitué d'un cadre métallique relié à un manche de bois. Le cadre métallique a une dimension de 40 cm par 15 cm. Sur ce cadre nous retrouvons un filet à petite maille. La méthode de travail consiste à déplacer le filet sur une distance de 2 m.

L'utilisation de l'ensemble du matériel précité a permis l'application de la méthodologie définie par Mary en 1999 (N. Mary, 1999) et validée par la DAVAR pour le calcul de l'IBNC. Cette méthodologie consiste à effectuer 5 prélèvements par station, en milieu lotique. Le transect échantillonné sur la station présente une longueur égale à environ 10 fois la largeur du cours d'eau. Les 5 prélèvements sont représentatifs de l'ensemble des couples substrats/vitesse présents sur la station, nous permettant ainsi de caractériser l'ensemble des taxa présents au sein des différents microhabitats de l'écosystème aquatique.

Cette méthodologie prévoyait initialement que les 5 prélèvements soient regroupés au sein d'un seul et même flacon sur lequel sont reporté le nom de la station, la date et le nom du préleveur. Cette méthodologie a récemment été revue par N. Mary pour **le calcul de l'indice biosédimentaire (IBS)**. En effet, les 5 prélèvements afférents à une station sont maintenant conditionnés dans des flacons séparés, afin de permettre le calcul du dit indice. Précisons que ce nouvel indice, en cours d'agrément par la DAVAR, est destiné à détecter les pollutions de type minérale liées à l'activité minière (augmentation du taux de MES suite à au défrichement et exploitation des sols et sous-sols).

### 2.2.2 CONSERVATION DES ECHANTILLONS

L'ensemble des échantillons collectés a immédiatement été conditionné sur le terrain dans des flacons propres en polypropylène, contenant une solution d'éthanol à 95° diluée<sup>4</sup>. Chaque flacon a été complètement rempli de cette solution. Un morceau de coton a été placé entre le bouchon et la solution, afin d'éviter la présence de bulle d'air. Cette technique permet de préserver au mieux l'intégrité des spécimens collectés (évite que les appendices<sup>5</sup> (pattes, branchies, cerques, antennes) soient cassés lors du transport). Ces échantillons ont également placés à l'abri du rayonnement solaire, susceptible d'accélérer la décoloration des échantillons. Suite à leur détermination

<sup>4</sup> Ce mode de conservation permet de garder les bêtes collectées en état pendant plusieurs décennies, permettant ainsi un retour *a posteriori* sur l'échantillon si nécessaire.

<sup>5</sup> Les appendices sont des éléments importants permettant la détermination taxonomique des spécimens collectés.



## Synthèse

l'ensemble des spécimens sont stockés toujours dans de l'alcool à 95°, au sein de tube à hémolyse de 5 ml. Cette méthode permet de conserver à long terme les échantillons collectés.

### 2.2.3 COLLECTE DES DONNEES AFFERENTES A LA STATION

Au niveau de chaque station les paramètres mésologiques suivants ont été relevés :

- Pourcentage d'ombre ;
- Type de végétation riveraine et pourcentage de recouvrement des berges;
- Physionomie des berges (° de la pente, substrat) ;
- Présence de racine, de matière organique ;
- type du substrat mouillé (sable, galet, roche mère, cuirasse,...) ;
- largeur du lit mineur, du lit majeur ;

Les paramètres abiotiques suivant seront également mesurés :

- température ;
- concentration en oxygène dissous (ppm et %) ;
- conductivité ;
- le pH.

L'ensemble de ces données sera compilé au sein de fiches techniques terrain normalisées.

### 2.2.4 DETERMINATION TAXONOMIQUE DES ECHANTILLONS

Les macroinvertébrés ont été observés séparément sous une loupe binoculaire et identifiés sur la base de pièces anatomiques spécifiques (labium, maxille, mandibules, pattes, griffes tarsales, ...), à l'aide du « *guide pratique d'identification des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau calédoniens* ».

Cette détermination a été effectuée en Nouvelle-Calédonie par le Dr Ecotoxicologie Dominique Yannick<sup>6</sup>, spécialisé notamment sur la faune benthique tropicale et équatoriale.

Au niveau de la détermination des échantillons, notre société a mis en place un protocole **AQ/CQ** afin de garantir la validité de l'identification taxonomique, base de l'étude de la dynamique des populations de macroinvertébrés benthiques. Ce protocole repose sur le double contrôle de la détermination effectuée soit par nos soins soit par notre partenaire Asconit Consultant. Ce protocole garantit la qualité de nos résultats à nos clients.

La liste faunistique a été établie pour chaque station. Cette liste indique pour chaque *taxon*:

<sup>6</sup> Elaboration de la clé de détermination des macroinvertébrés de Guyane française (Orth, Dominique et Thomas, 2000). Description de plus de dix espèces nouvelles et de deux genres nouveaux d'invertébrés aquatique pour la science.

## Synthèse

- le nombre d'individu collecté ;
- l'abondance relative ;
- les scores IBNC et IBS affectés.

## 2.3 SUIVI DE L'ETAT DE STRUCTURATION DES COMMUNAUTES

### 2.3.1 INDICE DE DIVERSITE

La diversité des éléments d'une communauté est un concept qui recouvre deux aspects distincts :

- le nombre de *taxa* recensés (familles, genres ou espèces) ;
- la régularité de la répartition numérique des *taxa* dans l'inventaire : les différents *taxa* présentent-ils une fréquence d'occurrence voisine ou non ?

La diversité d'une communauté est donc un bon « miroir » de son état de santé, une communauté monospécifique étant souvent synonyme d'un dysfonctionnement de l'écosystème.

Les indices de diversité suivants seront calculés pour chaque station :

- Richesse spécifique ( $N$  = nombre total de taxon) ;
- L'indice de diversité de Shannon et Weaver ( $H'$ ) : cet indice qui n'est autre que l'entropie de l'échantillon possède donc qualitativement et quantitativement les propriétés requises pour traduire les deux aspects de la diversité exposés ci-dessus. Cet indice est le plus souvent présenté accompagné de l'indice d'équitabilité de Piélou qui permet de qualifier la diversité observée au regard de la diversité maximale attendue.

Le complément méthodologique ci-après expose de manière détaillé les indices de diversité et de similitudes utilisés.

### 2.3.2 INDICE DE SIMILITUDE

Comme mentionné précédemment, deux des six stations étudiées font l'objet d'un suivi régulier de la part de VALE-NC. Les résultats obtenus lors de ce suivi ont donc pu être comparés aux données acquises précédemment afin d'estimer le degré de remédiation des communautés benthiques du creek suite à l'incident.

Pour ce faire les méthodes suivantes seront utilisées :

- Calcul de l'indice de similitude de Jaccard ;
- Calcul du coefficient de perte des communautés ;

Outre ces deux méthodes, l'évolution temporelle de la densité sera également étudiée.

## Synthèse

### Complément méthodologique 1 :

#### 1.1 : La diversité taxinomique.

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 ?

La diversité d'une population peut être caractérisée par un descripteur numérique : l'indice de diversité. Parmi les divers indices de diversité élaborés, l'indice de Shannon (Shannon et Weaver, 1963), qui n'est autre que l'entropie de l'échantillon et de ce fait possède qualitativement et quantitativement les propriétés requises pour traduire les différents aspects exposés ci-dessus de la diversité d'une population, a été choisi. Cet indice noté  $H'$ , se calcule selon la formule :

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

où  $p_i$  est la proportion d'individus de chaque taxon, soit sa fréquence d'occurrence dans la population.

$H'$  prend sa valeur minimale pour un nombre donné d'espèces, lorsqu'une seule est représentée par plus d'un individu, toutes les autres étant présentes en un seul exemplaire et sa valeur maximale lorsque toutes les espèces sont équi-représentées.

En milieu naturel, les valeurs de diversité reportées sont comprises entre des maxima de l'ordre de 3,5 à 4,5 pour des communautés bien diversifiées et des minima proches de 1, pour des communautés faiblement diversifiées (Frontier et al., 2004).

L'indice de Shannon sera interprété au regard de la diversité maximale attendue au sein de la population étudiée. Cette diversité peut se calculer au travers de la formule suivante :

$$H_{\max} = \log_2 (S)$$

Où  $S$  est la richesse spécifique.

L'indice d'Équitabilité est la résultante de cette comparaison avec :

$$E = H' / H_{\max}$$

#### 1.2 : Similarité/dissimilarité des communautés.

Le degré de similitude de deux communautés de taxons peut être caractérisé par l'indice de Jaccard (Jaccard, 1912), calculé selon la formule :

$$\text{Indice de Jaccard} = \frac{S_a - b}{(S_a + S_b) - S_a - b}$$

où  $S$  est le nombre de taxons présents dans les différents sites ( $a$  et  $b$ ) et  $S_a - b$ , le nombre de taxons communs aux deux sites.

Le degré de perte de taxon au sein d'une communauté, qui est en fait le degré de similitude d'une communauté à un temps  $t_0$ , avec la même communauté au temps  $t$ , peut également être caractérisé via un coefficient de perte des communautés, calculé selon la formule :

$$I = (S_a - S_b) / S_a - b$$

### 3 RESULTATS

---

#### 3.1 EVOLUTION DE LA RICHESSE TAXONOMIQUE ET DE LA DIVERSITE BIOLOGIQUE SUITE A L'INCIDENT

##### 3.1.1 LA RICHESSE TAXONOMIQUE :

Pour mémoire, rappelons que l'incident survenu le 01 avril 2009 avait généré une importante perte de biodiversité au sein des communautés d'invertébrés benthiques du creek de la Baie Nord. Seuls deux à quatre *taxa* étaient observés au droit des différentes stations de suivi localisées en aval du site de l'usine 72 heures après l'incident. Les résultats obtenus lors des différentes campagnes d'observation menées mensuellement durant l'année qui a suivi cet incident nous ont permis d'observer une augmentation assez rapide de la richesse taxonomique. En effet, comme nous pouvons le constater sur la figure 1 ci-dessous, la progression de type « logarithmique » observée pour cette métrique au droit des différentes stations nous indique la présence d'une phase rapide de recolonisation du milieu par les différents *taxa* (forte pente observée en début de suivi), suivi d'une phase de progression plus faible voire nulle (inflexion de la courbe et plateau observés) indiquant un retour à la richesse maximale observable à l'aide de la méthode utilisée (5 prélèvements par station). Nous pouvons également constater qu'en fonction du degré plus ou moins important de la pente initiale de la courbe, période de recolonisation du milieu, nous pouvons distinguer deux grands groupes de stations :

- Les stations U-7, 6-Q, 6-T et 6-U, présentant une forte augmentation de la richesse taxonomique sur les 2 à 3 premiers mois suivant l'incident (forte pente entre début mai et fin juin), conduisant dès fin juin (point d'inflexion de la courbe) à des communautés présentant une richesse proche de sa valeur maximale observable (14 à 21 *taxa* selon les stations) ;
- Les stations 6-BNOR1 et 6-deb11 présentant une progression plus lente de la richesse taxonomique, le point d'inflexion de la courbe n'étant observé que vers le mois d'août. Il faut cependant noter que si la recolonisation du milieu par les invertébrés au droit de ces deux stations apparaît plus lente, elle conduit à des valeurs maximales plus élevées (26 à 29 *taxa*).

Notons également que la station 6-BNOR2 localisée quelques mètres à l'aval de 6-BNOR1 présente une évolution de sa richesse taxonomique similaire à celle des autres stations du creek, de 11 *taxa* en mai, cette métrique augmente à 22 *taxa* en novembre 2009.

## Synthèse

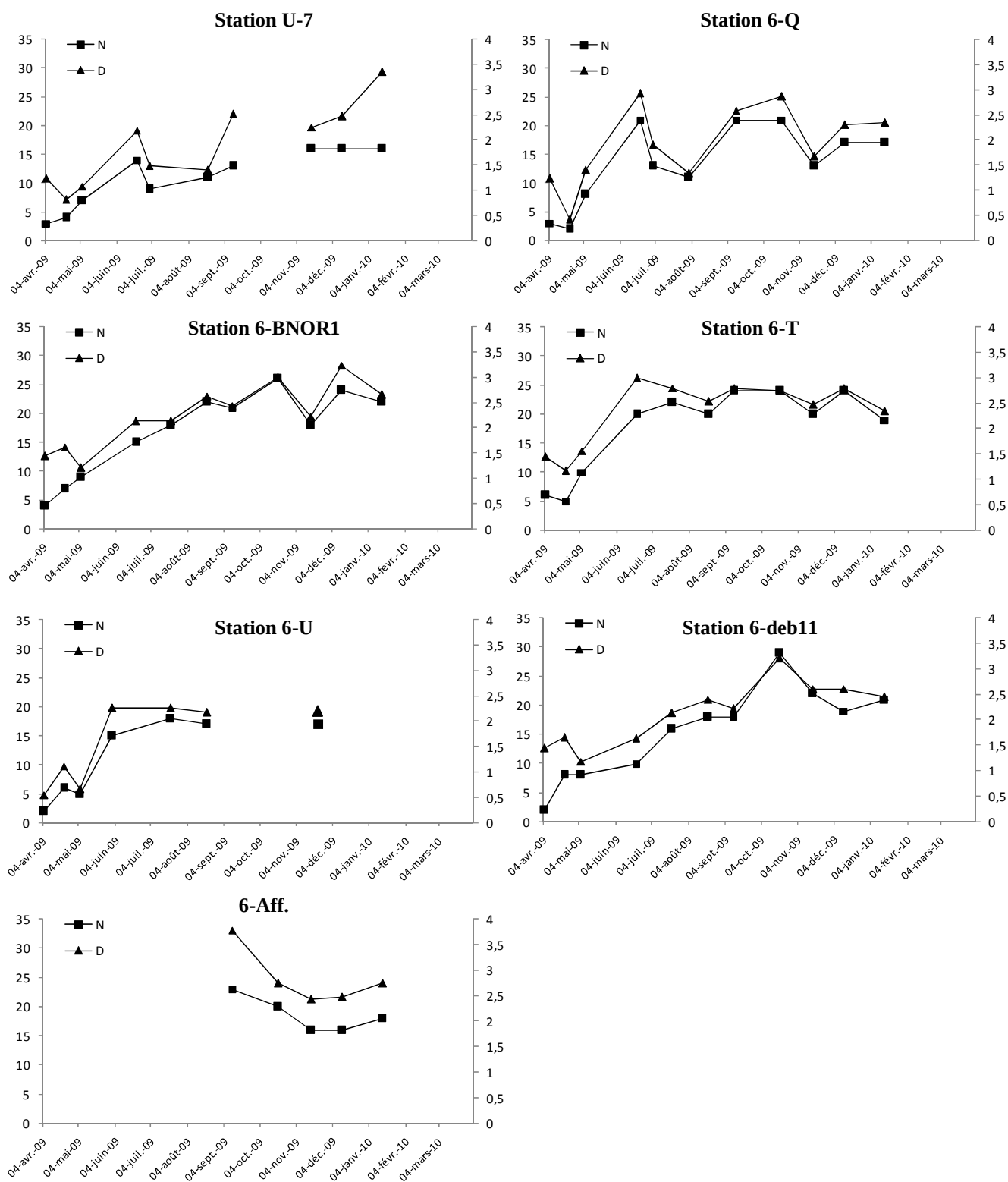


Figure n°1 : Evolution de la richesse taxonomique (nombre de taxa (N) et indice de Margalef (D)) au droit des différentes stations de suivi du creek localisées sur la Baie Nord suite à l'incident du 01 avril 2009.

## Synthèse

Les profils d'apparition de nouvelles espèces dressés au droit des différentes stations (cf. Fig. n°2), nous permettent, d'une part, de confirmer les résultats obtenus ci-dessus au travers l'analyse simple de l'évolution temporelle de la richesse spécifique. A savoir que pour les stations U-7, 6-Q, 6-T et 6-U nous observons un pic d'apparition d'espèces entre les campagnes d'échantillonnage 3 et 4 (5 mai et 20 juin 2009), suite auquel plus de 50 % des espèces recensées sont observées, alors qu'au droit des stations 6-BNOR1 et 6-deb11, le nombre d'espèces nouvelles croît progressivement jusqu'en septembre et seul un pic d'apparition d'espèce est constatée entre septembre et octobre au droit de 6-deb11. D'autre part, ces profils nous permettent de constater que les communautés benthiques observées au droit des différentes stations de suivi du creek de la Baie Nord présentent une richesse taxonomique annuelle oscillant entre 30 et 38 *taxa* (Fig. n°2).

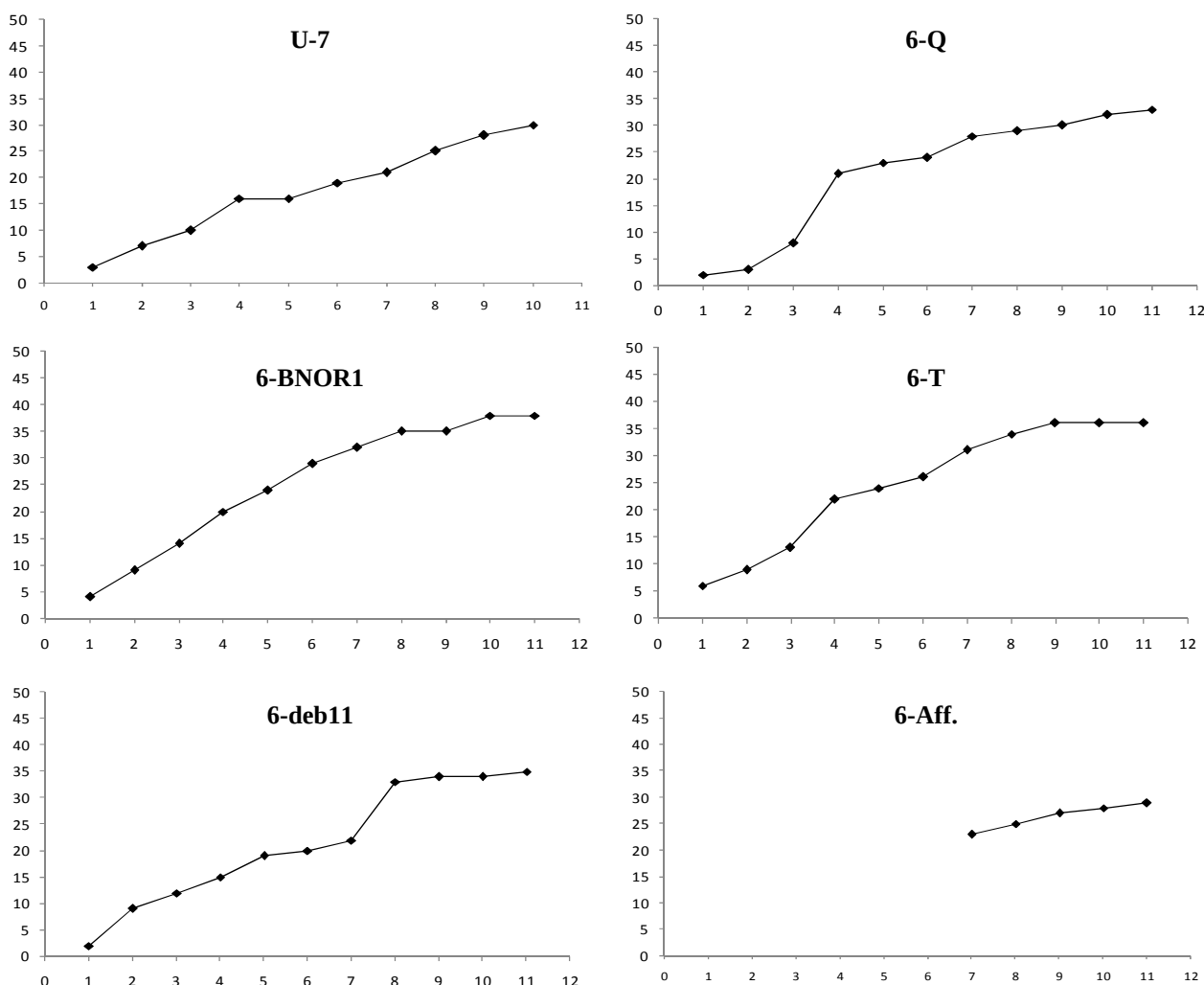


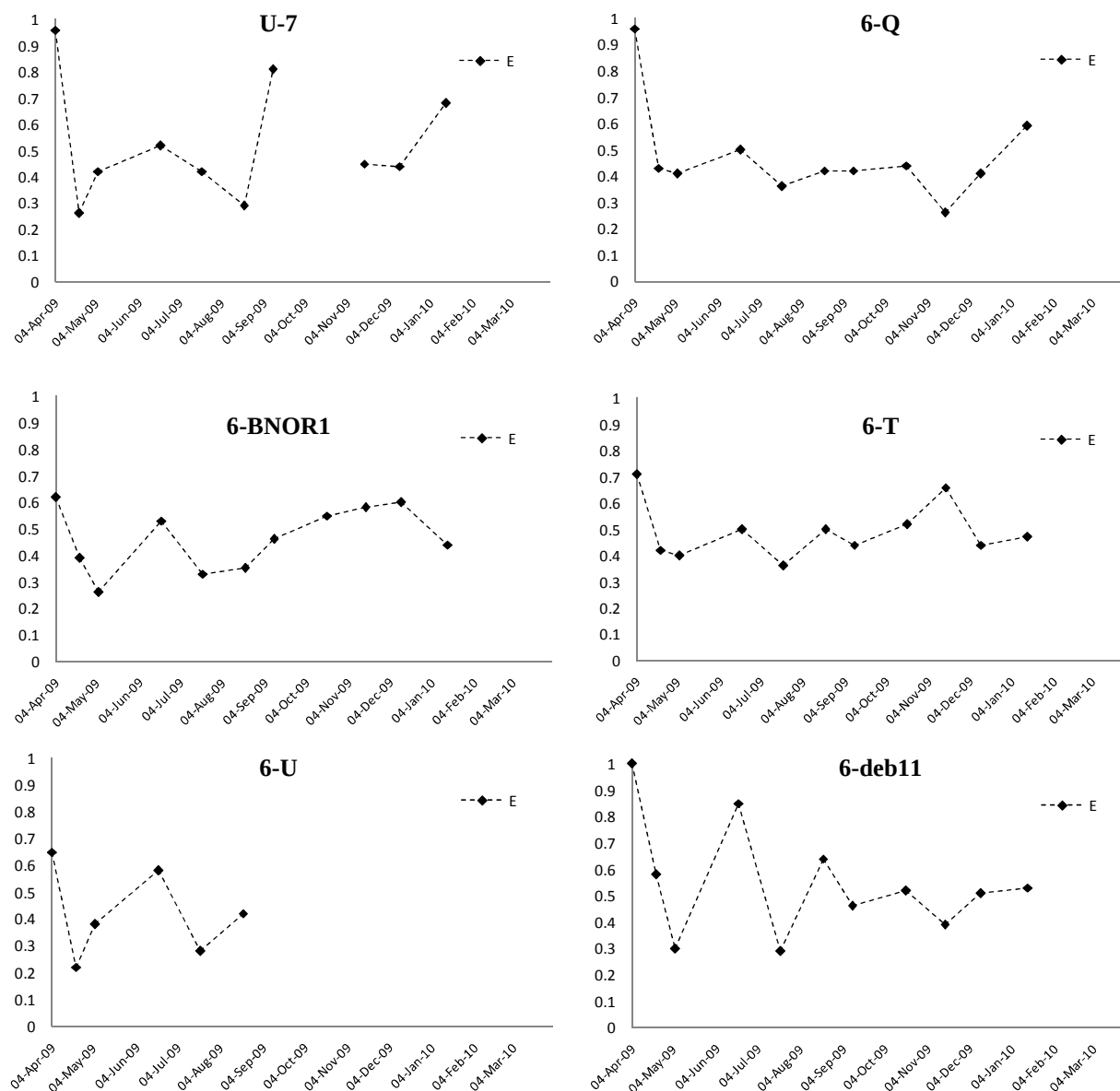
Figure n°2 : Profil d'apparition de nouveau *taxa* au droit des différentes stations de suivi localisées sur le creek de la Baie Nord suite à l'incident du 01 avril 2009.



## Synthèse

### 3.1.2 LA DIVERSITE BIOLOGIQUE :

L'autre paramètre important à considérer aux côtés de la richesse taxonomique lorsque l'on évoque la diversité d'une communauté est la répartition numérique des *taxa* au sein de cette communauté. Afin d'estimer cette valeur l'indice d'équitabilité de Pielou (E) calculé à partir de l'indice de diversité de Shannon (H') a été utilisé. Le suivi effectué nous a permis de constater que cet indice présente des valeurs moyennes sur la totalité du suivi oscillant entre 0,45 et 0,55 au droit des différentes stations (cf. Fig. n°3), y compris 6-BNOR2 (E = 0,48 en novembre). Au droit de la station 6-Aff. localisée sur l'affluent Sud du creek Baie Nord, cet indice présente une valeur moyenne de  $0,7 \pm 0,04$  entre septembre 2009 et janvier 2010.



**Figure n°3 : Evolution de la diversité biologique (indice de Pielou (E)) des communautés de macro invertébrés benthiques au droit des différentes stations de suivi localisées sur le creek de la Baie Nord suite à l'incident du 01 avril 2009.**

## Synthèse

Nous pouvons en effet constater que, dès le 21 avril et l'augmentation du nombre de taxa, cet indice présente au droit des différentes stations des valeurs inférieures à 0,5 synonymes de la présence d'un déséquilibre au sein des communautés observées. En d'autres termes les communautés du creek Baie Nord en aval du site de l'usine présente des assemblages faunistiques constitués de quelques *taxa* dominants et de plusieurs *taxa* présents en faibles densités. Il est important de noter que cette métrique, contrairement à la richesse taxonomique, ne présente aucune évolution significative à la hausse durant toute la période de suivi : le déséquilibre constaté suite à l'incident se maintenant jusqu'à la dernière campagne de mesure.

L'analyse de l'abondance relative observée pour les différents *taxa* nous permet de constater que ce déséquilibre s'explique dans un premier temps par la présence en nombre important dès les premières semaines de suivi (21 avril et 5 mai), de larves de *Chironomidae*, notamment de la sous-famille des *Orthocladinae* qui représentaient plus de 70% des *taxa* collectés au droit de chaque station (cf. Fig. 4). Par la suite, nous pouvons observer des communautés dominées par deux ou trois *taxa* en fonction des mois et des stations. A partir de fin juillet, une nette augmentation de l'abondance relative des larves de Trichoptères *Hydroptilidae* est observée au droit des stations U-7, 6-Q et 6-BNOR1. Au droit des stations 6-T et 6-Deb11 ce sont les Diptères de la famille des *Simuliidae* qui voient leur abondance relative fortement augmenter fin juillet. Ce *taxon* présente également aux côtés des larves d'*Hydroptilidae*, un fort développement sur l'ensemble des stations au mois de septembre. En fin d'année, ces deux *taxa* voient leur abondance relative diminuer à l'exception de la station 6-Q où les *Simuliidae* demeurent le *taxon* dominant (Abondance relative > à 60%). Notons enfin qu'au droit de la station U-7 située en tête de réseau, les communautés de la fin d'année 2009 sont dominées par les larves de *Tanypodinae* (cf. Fig. n°4).

Au droit de la station 6-Aff, localisée sur l'affluent non impacté du creek, il est intéressant de constater que les larves d'*Orthocladinae* dominent encore les communautés au mois de septembre lors de la 7<sup>ème</sup> campagne de suivi (37,6 % des individus collectés), alors que ce *taxon* a montré un net recul lors de cette campagne au droit de l'ensemble des stations de suivi localisées sur le bras principal du creek. De même, nous pouvons constater qu'au droit de cette station les larves d'*Hydroptilida*, ne voient leur abondance relative réellement augmenter qu'à partir du mois de janvier 2010.

Concernant les autres *taxa* observés lors des différentes campagnes nous pouvons constater que ces derniers présentent pour la plupart une nette augmentation de leur densité en fin d'année, à partir du mois de septembre (cf. Fig. n°5). Notons que pour d'autres *taxa* tels les larves de Diptères *Limoniidae* ou *Ceratopogoninae*, un premiers pic d'abondance est observé plus tôt au cours du suivi (mois de juillet), au droit de certaines stations (U-7 et 6-Q pour les larves de *Limoniidae* et 6-T pour les larves de *Ceratopogoninae*)

## Synthèse

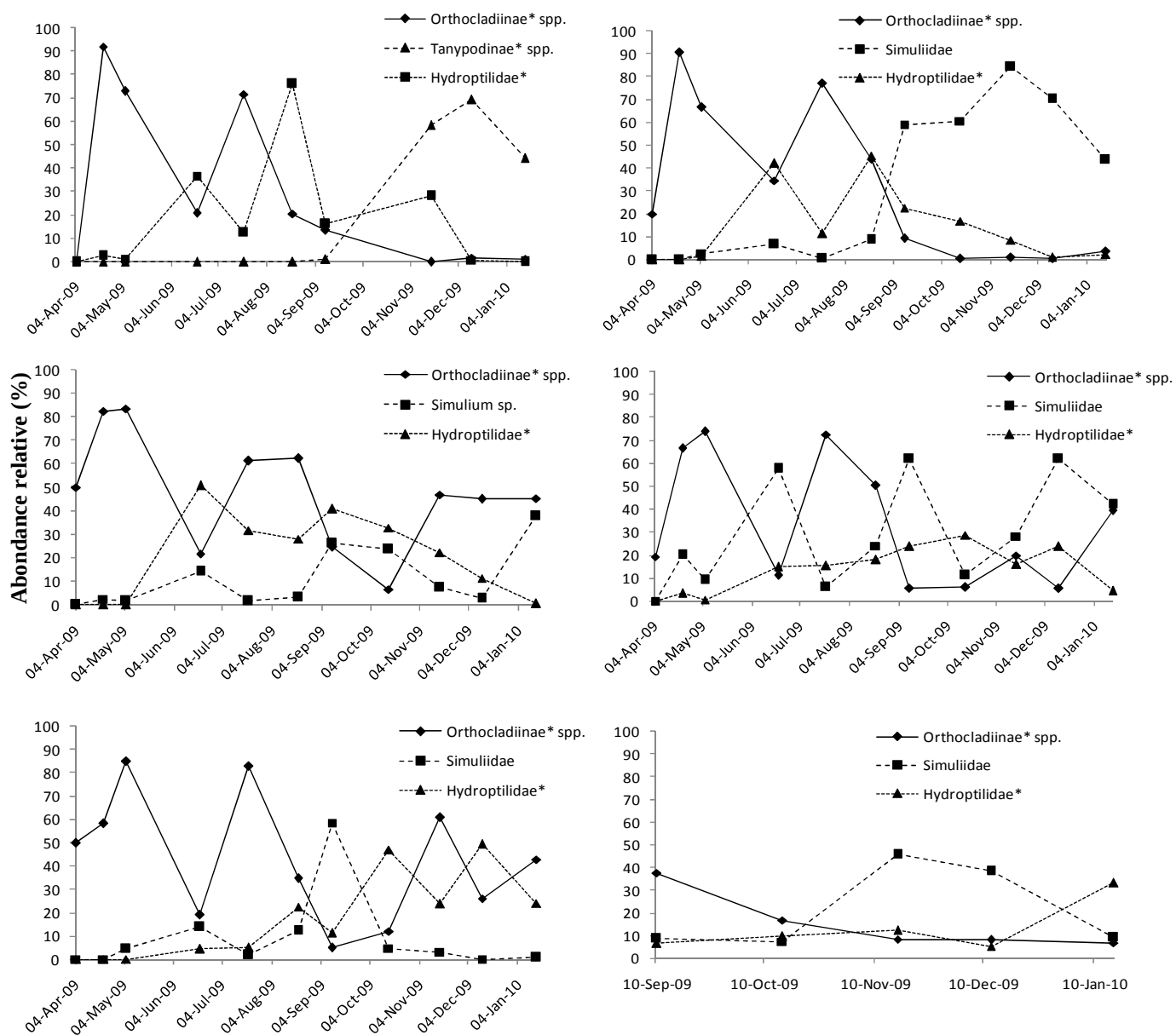


Figure n°4 : Evolution de l'abondance relative des larves d'Orthoclaadiinae, de Simuliidae, d'Hydroptilidae et de Tanypodinae, principaux taxa dominant les communautés de macro-invertébrés benthiques des différentes stations de suivi localisées sur le creek de la Baie Nord suite à l'incident du 01 avril 2009.

## Synthèse

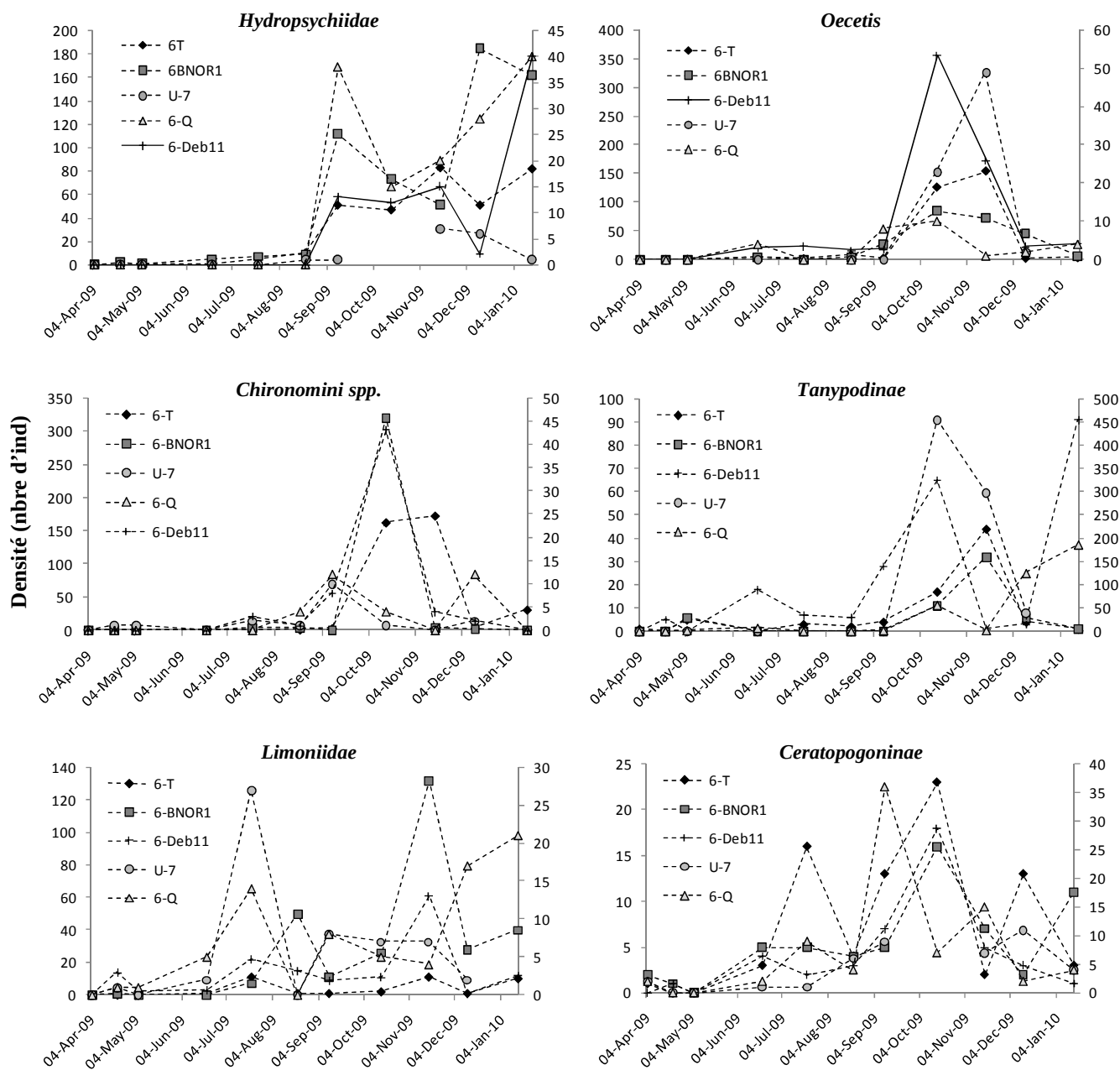


Figure n°5 : Evolution de la densité de larves de quelques uns des principaux *taxa* observés suite à l'incident du 01 avril 2009 au droit des différentes stations de suivi localisées sur le creek de la Baie Nord.

## Synthèse

### 3.2 EVOLUTION DU DEGRE DE STRUCTURATION DES COMMUNAUTES

#### 3.2.1 TAUX DE *CHIRONOMIDAE* ET D'EPHEMEROPTERES-TRICHOPTERES

Les larves de *Chironomidae* de part leur capacité à supporter de nombreuses altérations sont généralement utilisées pour caractériser le degré de structuration ou plutôt de déstructuration des communautés d'invertébrés benthiques. En effet, lorsqu'un milieu est perturbé, la disparition des *taxa* les plus sensibles va, principalement en modifiant les relations de compétition inter-*taxa*, disparaître et laisser ainsi le champ libre au développement des *taxa* plus résistants (chute de la limitation liée à la compétition inter-*taxa*), qui voient leur abondance fortement augmenter. Un fort taux de larves de *Chironomidae* est donc synonyme de la présence d'une altération ayant entraînée la régression de certains *taxa* au profil de ce *taxon*. En complément du taux de larves de *Chironomidae*, il est généralement utilisé le taux de larves d'Ephéméroptères, Trichoptères et Plécoptères, trois ordres sensibles aux altérations du milieu. En Nouvelle-Calédonie ce dernier indice se limite à l'utilisation des larves de Trichoptères et d'Ephéméroptères du fait de l'absence des larves de Plécoptères.

L'évolution du taux de larves de *Chironomidae* et du taux de larves d'Ephéméroptères et Trichoptères ne montrent quelques soit la station considérée, aucune tendance « monotone » évolutive significative à la hausse ou à la baisse (Cf. Fig. n°6 et tableau 1). Néanmoins de grande phase d'évolution se succèdent sur toute la période de suivi. L'analyse de l'évolution du taux de larves de *Chironomidae* nous permet en effet de constater qu'une augmentation très rapide de ce dernier est observée quelques jours après l'incident (cf. Fig. n°6). Lors des campagnes des 21 avril et 5 mai, des valeurs élevées ont en effet pu être observées ( $70\% < \% \text{ Chiro} < 100\%$ ). Cet indice montre par la suite entre les campagnes de juillet et octobre une tendance monotone significative à la baisse au droit de l'ensemble des stations (cf. Fig. n°6), ramenant ce dernier à des valeurs comprises entre 10 et 36 %. A partir des campagnes de décembre 2009 et janvier 2010, une ré-augmentation de cet indice est observée de manière générale au droit des différentes stations (cf. Fig. n°6).

Parallèlement le taux de larves d'ET faible voir nul après l'incident, montre une tendance monotone significative à la hausse entre les campagnes de mai et août sur les trois stations localisées sur le cours inférieur du creek de la Baie Nord, pour atteindre des valeurs supérieures à 50 % (cf. Fig. n°6 – U-7, 6-Q et 6-BNOR1). Cet indice montre ensuite entre les campagnes des mois de septembre et janvier une tendance à la baisse significative ramenant à de faibles valeurs similaires à celles observées suite à l'incident (cf. Fig. n°6).

## Synthèse

Au droit des stations localisées sur le cours inférieur (6-T, 6-U et 6-Dec11), en début de suivi, cet indice évolue plus lentement et montre une tendance monotone à la hausse significative entre les mois de mai et Octobre 2009 où les valeurs maximales sont observées (%ET = 33 et 53% respectivement au droit de 6-T et 6-Dec11). Par la suite une tendance à la baisse est observée entre Novembre 2009 et janvier 2010.

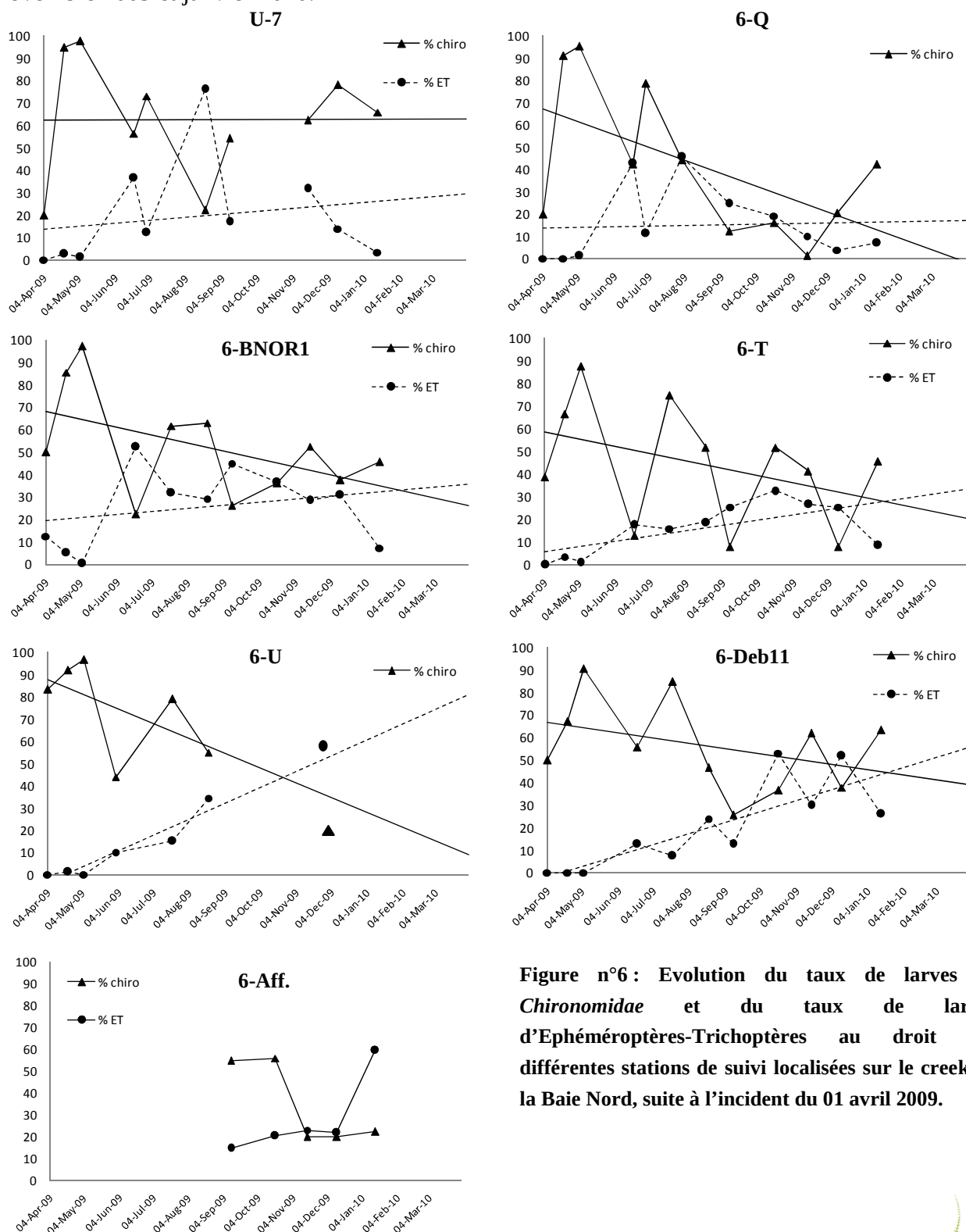


Figure n°6 : Evolution du taux de larves de *Chironomidae* et du taux de larves d'Ephéméroptères-Trichoptères au droit des différentes stations de suivi localisées sur le creek de la Baie Nord, suite à l'incident du 01 avril 2009.

## Synthèse

### 3.2.2 EVOLUTION DES NOTES INDICIELLES IBNC ET IBS :

Les notes indicielles IBNC et IBS ont été calculées pour l'ensemble des stations de suivi, lorsque cela s'est avéré possible. En effet le nombre de *taxa* indicateurs présents est une des limites d'utilisation de ces indices : en deçà de 7 *taxa* indicateurs au droit d'une station, les indices ne peuvent être calculés (N. Mary, com. pers.). Au droit des différentes stations de suivi conséquemment à la forte perte de biodiversité engendrée par l'incident, il s'est avéré impossible de calculer ces deux notes pour les trois premières campagnes effectuées au mois d'avril et mai, le nombre de *taxa* indicateurs dépassant le seuil de 7 seulement à partir de la campagne menée fin juin (cf. Fig. n°7).

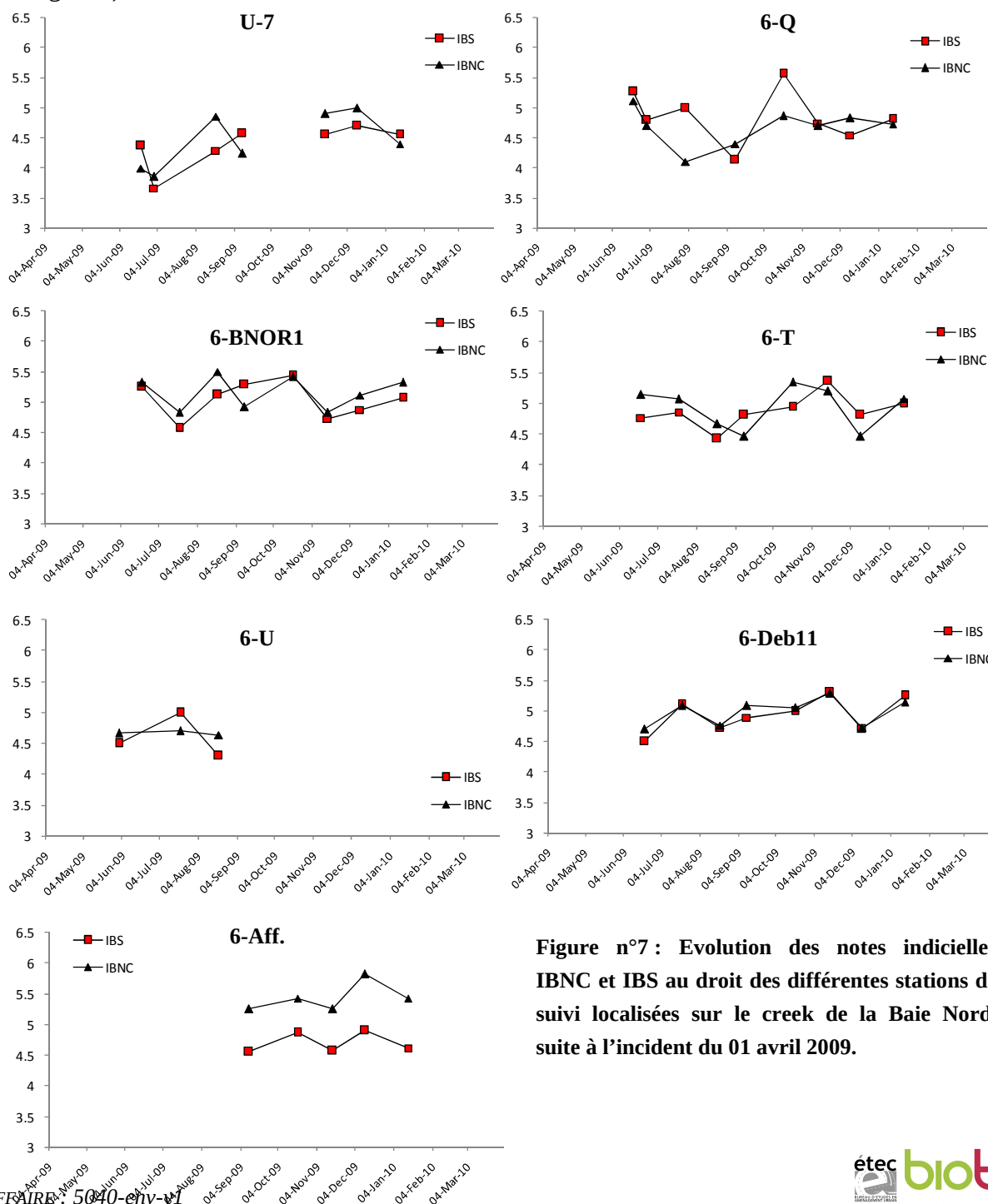


Figure n°7 : Evolution des notes indicielles IBNC et IBS au droit des différentes stations de suivi localisées sur le creek de la Baie Nord, suite à l'incident du 01 avril 2009.



## Synthèse

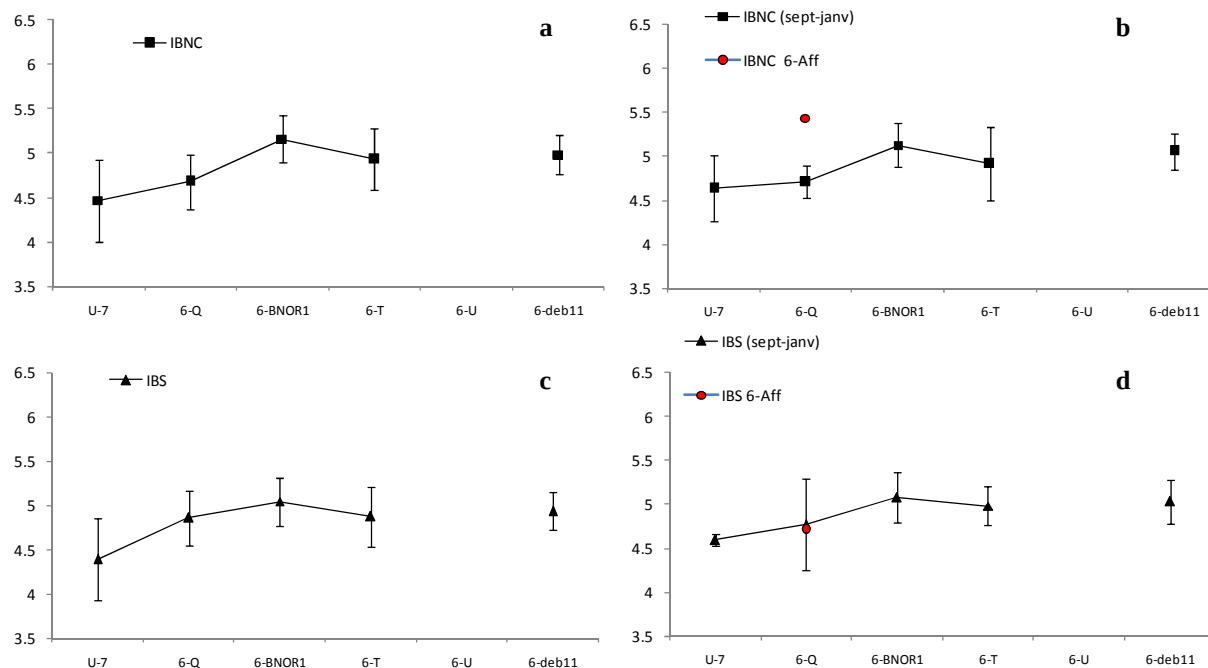
Concernant la note IBNC, nous pouvons constater que dès le mois de juin cette dernière atteint au droit de l'ensemble des stations du réseau de suivi des valeurs comprises entre 4,5 et 5,5 synonymes d'une qualité biologique des eaux « passables ». Seule la valeur calculée au droit de la station U-7 localisée en tête de réseau, à quelques mètres en aval du dernier ouvrage de gestion des eaux du site de l'usine montre une qualité biologique des eaux « mauvaise » (IBNC = 4). Cette qualité biologique « mauvaise » se maintient au droit de cette station lors de la campagne de juillet (IBNC = 3,86) et suite à une amélioration en août (IBNC = 4,86), est retrouvée lors de la campagne de septembre (IBNC = 4,25). Outre ces notes calculées pour la station U-7, seule la note obtenue à l'issue de la campagne d'août au droit de la station 6-Q localisée 500 mètres en aval d'U-7, indique une qualité biologique des eaux « mauvaise ». A l'opposé, sur l'ensemble du suivi effectué, seule la note calculée au droit de la station 6-T pour cette même campagne d'août montre une qualité biologique des eaux « bonne ».

D'une manière générale, il ne ressort aucune tendance évolutive notable de cet indice entre le mois de juin et la fin de cette première phase de suivi au droit de l'ensemble des stations localisées sur le bras principal du creek de la Baie Nord (cf. Fig. n°7). D'autre part, nous pouvons constater que les valeurs moyennes prises par cet indice sur la totalité du suivi effectué montrent une tendance évolutive à la hausse au fur et à mesure que nous nous éloignons du site de l'usine (cf. Fig. 8a). Cette note moyenne augmente en effet progressivement de la station U-7 localisée à l'aval immédiat du site de l'usine (IBNC =  $4,46 \pm 0,46$ ) à la station 6-BNOR1 localisée à 2 km en aval du site où la note moyenne obtenue apparaît significativement supérieure à celle obtenue au droit de la station U-7 (IBNC =  $5,16 \pm 0,27$  ; test de U  $p = 0,02$ ). Au droit des stations 6-T et 6-Deb11 localisée plus en aval sur le cours inférieur, la note IBNC moyenne se maintient à des valeurs similaires à celles de la station 6-BNOR1 (IBNC<sub>moyen</sub> =  $4,93 \pm 0,34$  et  $4,98 \pm 0,21$ , test U,  $p > 0,05$ ). Par ailleurs, si nous considérons maintenant que la seconde partie du suivi effectuée à partir de Septembre 2009, date à laquelle la station 6-Aff. localisée sur l'affluent non impacté par l'incident a été intégrée (cf. Fig. 8b), nous pouvons constater que la note IBNC moyenne obtenue au droit de cette station (IBNC<sub>moyen</sub> =  $5,43 \pm 0,23$ ) ne présente pas de différence significative avec les notes obtenue pour la même période au droit des station 6-BNOR1, 6-T et 6-Deb11 (test U,  $p > 0,05$ ). Seules les stations U-7 et 6-Q présentent des notes significativement inférieures à cette dernière (test U,  $p = 0,03$  et  $p = 0,04$ , respectivement). Notons également que la station 6-BNOR2 présente une note IBNC indiquant une qualité de l'eau passable en novembre 2009 (IBNC = 4,62) et apparaît réagir de manière similaire à l'ensemble des autres stations de suivi. Aucun impact résiduel du rejet de la STEP n'est donc constaté au droit de cette dernière.

Concernant la note IBS ou indice bio-sédimentaire indiquant la présence d'altération dites « minérales » du milieu, à l'image de la note indicielle IBNC, aucune tendance évolutive générale n'est observée au droit des différentes stations entre le mois de juin et la fin du suivi (cf. Fig. n°7).

## Synthèse

Cette note oscille généralement entre 4 et 5,5 au droit de l'ensemble des stations de suivi localisées sur le bras principal du creek de la Baie Nord, indiquant une qualité biologique de l'eau oscillant entre les classes de qualité « mauvaise » à « passable » (cf. Fig. n°7).



**Figure n°8 : Evolution des notes indicielles moyennes IBNC et IBS au droit des différentes stations de suivi localisées sur le creek de la Baie Nord, durant toutes la phase de suivi (a et b), et sur la fin du suivi (à partir de septembre 2009) après intégration de la station 6-Aff.**

A l'image de la note IBNC, il apparaît se dessiner une tendance évolutive à la hausse de la note IBS moyenne observée sur la totalité du suivi entre les stations U-7 localisée en tête de réseau à l'aval immédiat du site, où la qualité biologique de l'eau se maintient « mauvaise » durant tout le suivi et la station 6-BNOR1 où la qualité fluctue entre les classes de qualité mauvaise à passable (cf. Fig.8c). Notons toutefois qu'aucune différence significative n'est observée entre les notes moyennes obtenues au droit de ces deux stations ( $IBS_{moyen} = 4,39 \pm 0,34$  et  $5,08 \pm 0,29$  respectivement ; test U,  $p > 0,05$ ). Les notes IBS se maintiennent à des valeurs similaires sur la partie aval du creek (stations 6-T et 6-Deb11 où  $IBS = 4,87 \pm 0,25$  et  $4,93 \pm 0,28$  respectivement). En ne considérant maintenant que la seconde partie du suivi effectuée à partir de Septembre 2009, afin d'intégrer la station 6-Aff. localisée sur l'affluent non impacté par l'incident (cf. Fig. 8d), nous pouvons observer que la note IBS moyenne obtenue au droit de cette station ( $IBS_{moyen} = 4,70 \pm 0,16$ ) présente une valeur inférieure à celle obtenue sur la même période au droit des station 6-BNOR1, 6-T et 6-Deb11, cette différence n'est cependant pas significative (test U,  $p > 0,05$ ). La

## Synthèse

valeur observée au droit de cette station s'apparentant plus aux valeurs observées au droit de la station 6-Q localisée sur le cours moyen du creek ( $IBS_{\text{moyen}} = 4,76 \pm 0,52$ ).

## 4 DISCUSSION

---

Après avoir présenté de manière factuelle les résultats obtenus lors des différentes campagnes de suivi menées sur le creek de la Baie Nord suite à l'incident survenu le 01 avril 2009, nous allons maintenant, au travers de la discussion qui va suivre, interpréter ces derniers aux regards de données de référence. Ce travail nous permettra de caractériser la cinétique et le degré de remédiation des communautés benthiques et ainsi cerner *in-fine* les réelles conséquences à court termes et moyen termes de l'incident. Les données de référence considérées dans le cadre de cette discussion seront dans un premier temps celles qui ont été acquises au droit de la station 6-T. Les communautés benthiques de cette station ont en effet, fait l'objet d'un suivi « haute fréquence » depuis 2005, qui couplé à l'acquisition systématique des données physico-chimique a permis de commencer à caractériser leur fonctionnement. Nous utiliserons également les données faunistiques acquises parallèlement à ce suivi au droit de la station 3-C, station non soumise à l'influence du projet de Vale-NC. Nous utiliserons également les données acquises au droit de la station 6-Aff. lors de la seconde partie de ce suivi.

### 4.1 LA BIODIVERSITE

#### 4.1.1 LA RICHESSE TAXONOMIQUE

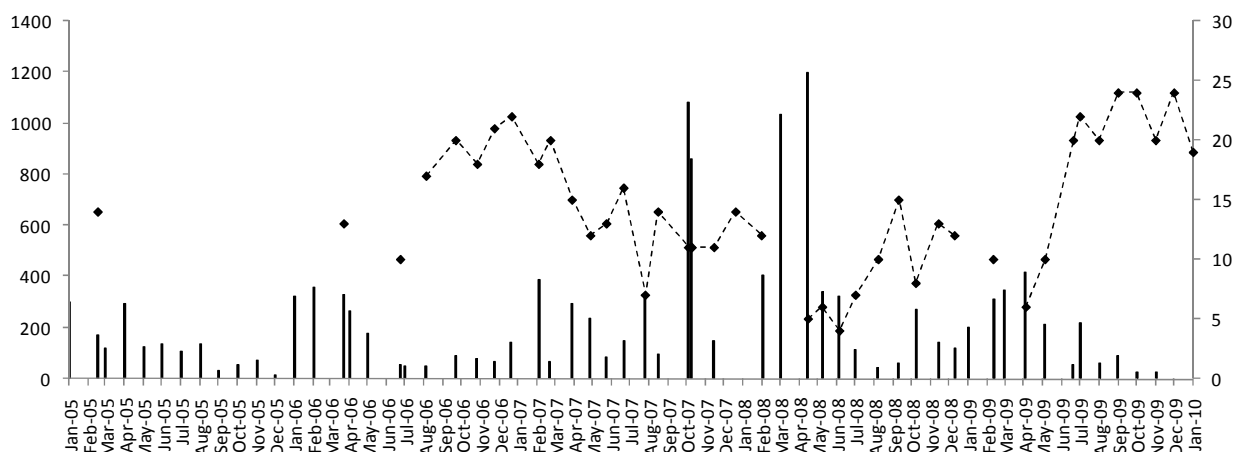
Nous avons vu que, suite à l'incident du 01 avril 2009, une forte chute de la richesse taxonomique a été observée au droit du creek de la Baie Nord. Le suivi effectué nous a également permis d'observer, deux mois après l'incident, la présence d'une forte augmentation de cette métrique, des communautés composées de 10 à 21 *taxa* étant observées au droit des différentes stations. La richesse taxonomique apparaît ensuite se maintenir entre 20 et 29 *taxa*.

Si nous revenons sur l'évolution observée de cette métrique lors de la période qui précéda l'incident, nous pouvons constater qu'au droit de la station 6-T, il est observé le plus fort degré de biodiversité lors de la période d'été 2006-2007 (Août 2006 à février 2007 avec  $17 < N < 22$  *taxa* ; cf. Fig. n°9). Nous pouvons également observer des richesses taxonomiques plus faibles en période humide (février 2005 ( $N = 14$ ), mars 2006 ( $N = 13$ )) et également durant toute la période couvrant les années 2007 et 2008. La synthèse des données physico-chimiques mesurées sur le creek de la

## Synthèse

Baie Nord lors durant cette période (Biotop, 2010<sup>7</sup>), semble montrer que les fortes précipitations observées durant toute cette phase, ont entraîné des hauteurs d'eau et débits au sein du creek 3 fois supérieures à la normale. Ces forts débits apparaissent avoir, de par leur nature même (stress hydraulique), et indirectement (amplification des phénomènes d'érosion et des apports terrigènes vers les creeks), participé à la déstructuration des communautés benthiques entraînant sur toute cette période une chute de la biodiversité ( $4 < N < 15$ ). Lors de toute analyse comparative il apparaît donc primordial de tenir compte des conditions hydrauliques du creek.

Lors du suivi effectué suite à l'incident du 01 avril 2009, nous pouvons constater que le cumul des précipitations caractérisant la période de juin 2009 à décembre 2009 ( $P = 439$  mm) est similaire à celui caractérisant la même période de l'année en 2006 ( $P = 454$  mm) et bien inférieur à ceux observés en 2007 et 2008 ( $P = 2\,490$  et  $736$  mm respectivement). Nous retiendrons donc l'année 2006 comme représentative de l'état « pré-incident » des communautés du creek de la Baie Nord.



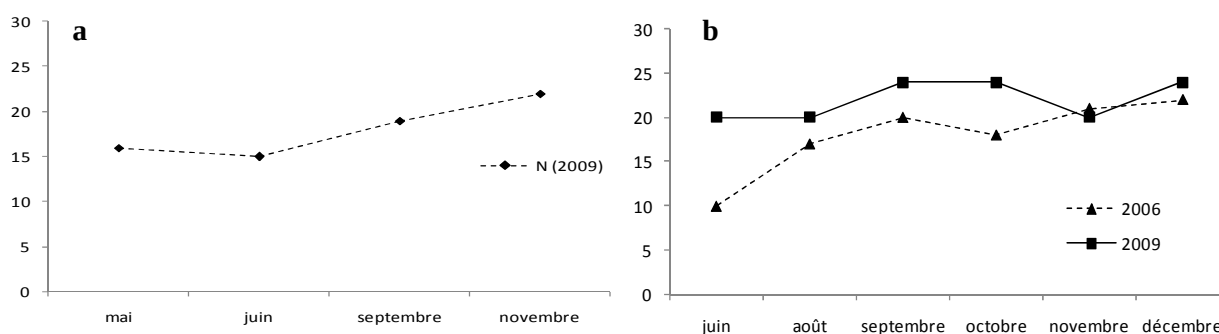
**Figure n°9 : Evolution de la richesse taxonomique et du cumul des précipitations (mm) au droit de la station 6-T depuis février 2005.**

L'analyse comparée des valeurs prises par la richesse taxonomique pour la période de juin à décembre entre les années 2006 et 2009 nous permet de constater que la richesse taxonomique observée en juin 2009, soit 2 mois après l'incident, est similaire voire supérieure à celle observée en 2006 pour la même période et présente sur la totalité de la période d'étiage, pour des conditions hydrauliques similaires, une tendance évolutive identique (cf. Fig.10a) : la richesse taxonomique moyenne observée au droit de 6-T entre juin et décembre 2009 ne présente pas de différence significative (test t,  $p > 0,05$ ), avec la richesse moyenne observée entre juin et décembre 2006 ( $N = 22 \pm 2,19$  et  $18 \pm 4,33$ ).

<sup>7</sup> Biotop, 2010. Suivi du fonctionnement physico-chimique et biologique du creek de la Baie Nord (200-2009) : Synthèse. 96 p.

## Synthèse

De même si nous observons maintenant l'évolution de cette métrique sur l'année 2009 au droit de la station 3-C, localisée sur un creek exempt de toute influence anthropique liée au projet de Vale-NC, nous pouvons également constater la présence d'une augmentation de cette dernière entre le début d'année (mai) et la fin d'année suite à l'entrée en période plus sèche. L'entrée dans une phase où les conditions hydrauliques des creeks apparaissent plus clémentes favorise l'apparition de nouveaux taxa dans les prélèvements. Ce phénomène peut-être en grande partie être lié à l'augmentation des densités de chaque *taxa* généralement observée en période d'étiage, augmentation qui augmente la probabilité de retrouver ces derniers dans les prélèvements.



**Figure n°10 : Evolution de la richesse taxonomique (N) au droit de la station 6-T entre juin et décembre pour les années 2006 et 2009 (b) et au droit de la station 3-C en 2009 (a).**

Si nous analysons maintenant le profil d'apparition des *taxa* modélisés pour l'année 2006 (pré-incident) au droit de la station 6-T (cf. Fig. n°11), profil nous pouvons constater entre mars et août l'apparition de nombreux nouveaux *taxa*. Ce processus se poursuit par la suite à une intensité plus faible sur toute la période d'étiage. Si nous comparons ce profil à celui obtenu pour l'année 2009, nous pouvons constater que suite à la perte de biodiversité engendrée par l'incident, le nombre important de nouveaux *taxa* étant apparus entre début mai et fin juin, permet de recaler la courbe modélisée sur celle obtenue pour l'année 2006. Leur évolution similaire sur le reste de l'année conduit *in-fine* à un nombre total de *taxa* observés semblable au sein du creek (N = 31 et 36 respectivement en 2006 et 2009).

Un profil d'apparition de *taxa* similaire peut également être observé au droit de la station 3-C lors de l'année 2009. (cf. Fig.n°11) : le nombre d'espèces observées augmente en effet de mai à novembre, avec un plus fort degré d'apparition entre les mois de juin et septembre (+ 7 *taxa*). Au droit de la station 6-Aff. localisée sur l'affluent non impacté du creek de la Baie Nord, nous pouvons également constater que le profil d'apparition des espèces dressé pour la période comprise

## Synthèse

entre septembre et décembre 2009, montre une évolution similaire à celui de la station 6-T. Au niveau de cet affluent seul 29 *taxa* ont été en tout observés.

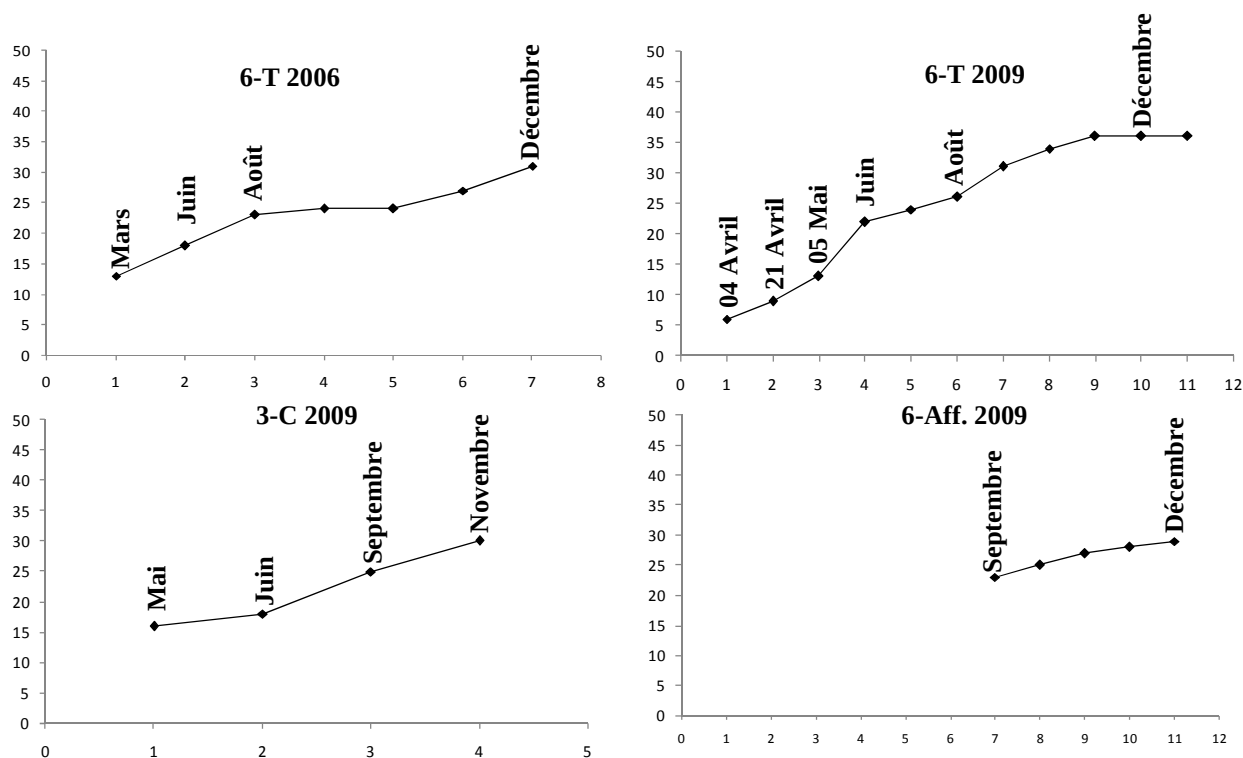


Figure n°11 : Profil d'apparition des espèces au droit de la station 6-T pour les années 2006 et 2009, pour la station 6-Aff. fin 2009 et pour la station 3-C pour l'année 2009.

Si nous regardons maintenant de plus près la composition faunistique globale des communautés observées lors de ces deux années, nous pouvons constater que ces dernières présentent un degré de perte de communauté négatif entre 2009 et 2006 ( $I = -0,3$ ), traduisant le fait qu'un nombre de *taxa* supérieur a été observé en 2009 suite l'incident ( $N = 36$  vs  $31$  en 2009 et 2006 respectivement), et un degré de similitude moyen ( $J = 0,5$ ), degré essentiellement lié à la même raison : de nouveaux *taxa* ont été observé en 2009 aux regards des observations faites en 2006. Ces nouveaux *taxa* sont essentiellement des *taxa* généralement retrouvés dans les parties lenticques<sup>8</sup> des creeks calédoniens au niveau des amas de matière organiques et algues filamenteuses (Plathelminthes, Nemertiens, Amphipodes, *Lestidae*, *Coenagrionidae*). A l'inverse il faut noter l'absence de représentants de la famille des *Leptophlebiidae* (*Ephemeroptera*) observés en 2006 au droit de cette station (*Lepeorus* et *Paraluma*). Les Ephéméroptères, ordre taxonomique généralement polluosensible, a toutefois été observé en 2009 au droit du creek de la Baie Nord :

- au droit des stations 6-BNOR1 et 6-Deb11 où des représentants du genre *Lepeorus* ont été vus.

<sup>8</sup> Lenticque : écosystème d'eaux calmes à renouvellement lent (lacs, mares, etc.) par opposition aux milieux lotiques.

## Synthèse

- au droit des stations 6-Q et 6-Deb11 où la présence d'une autre famille d'Ephéméroptères, la famille des *Baetidae*<sup>9</sup>, a été observée. Notons que cette famille n'a jusqu'à présent été que peu observée en Nouvelle-Calédonie. Seuls quelques exemplaires ont été observés par Peters dans les années 80 sur la rivière bleu et Biotop en 2009 au sein du marais Fournier sur la commune de Bourail.

### 4.1.2 LA DIVERSITE BIOLOGIQUE

Si nous comparons maintenant le degré de diversité des communautés observées suite à l'incident avec celui observé lors de l'année 2006 (cf. Fig. n°12), nous pouvons constater que dès le mois d'août 2009, l'indice d'équitabilité de Piélou utilisé pour quantifier la diversité, montre des valeurs similaires à celles observées en 2006 (comprises entre 0,3 et 0,5). Cet indice évolue par la suite de manière similaire et seul un décrochement en décembre 2009 est observé au regard des données de 2006 ( $E = 0,44$  vs  $0,64$  respectivement en 2009 et 2006). Néanmoins, malgré ce décrochement ponctuel, la valeur moyenne prise en 2009 par cet indice suite à l'incident ne présente pas de différence significative (test t,  $p > 0,05$ ) avec celle observée pour la même période en 2006 ( $E = 0,51 \pm 0,08$  et  $0,53 \pm 0,15$  respectivement).

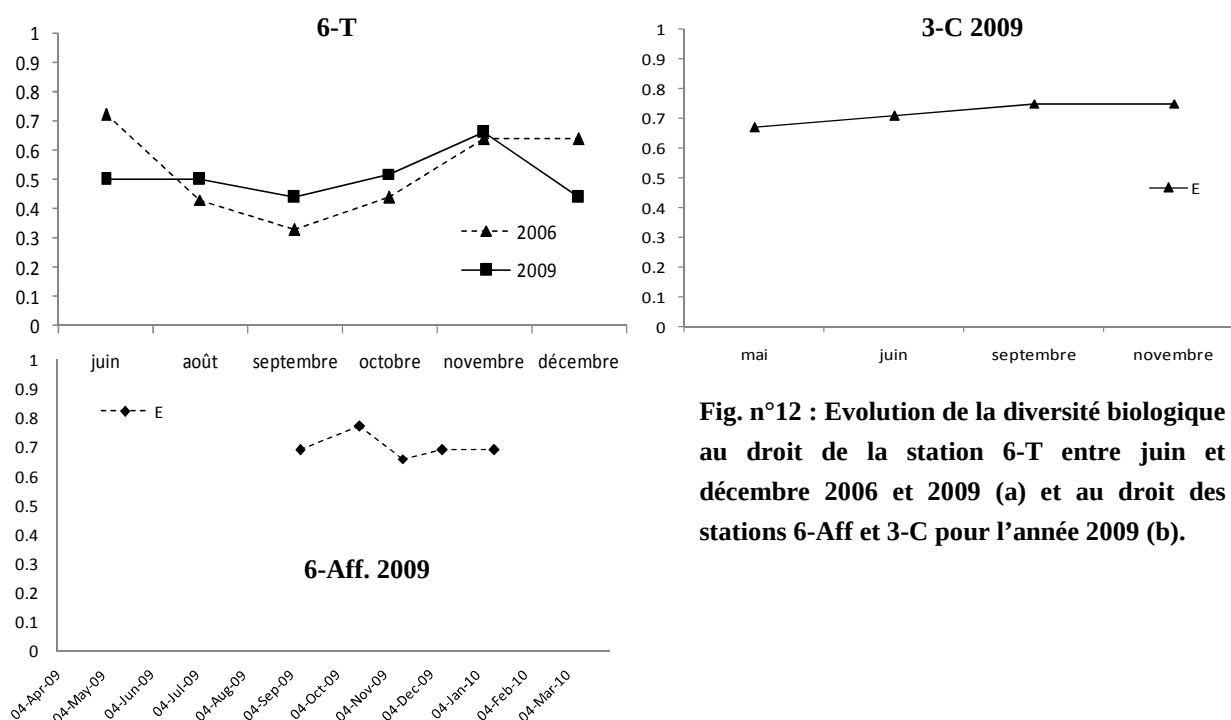


Fig. n°12 : Evolution de la diversité biologique au droit de la station 6-T entre juin et décembre 2006 et 2009 (a) et au droit des stations 6-Aff et 3-C pour l'année 2009 (b).

<sup>9</sup> Les échantillons de *Baetidae* ont été en partie envoyés pour identification au niveau spécifique au Professeur Alain Thomas (ex membre du Centre d'Ecologie des Systèmes Aquatiques Continentaux de l'Université de Toulouse III et spécialiste international de cette famille)



## Synthèse

Au regard de la diversité biologique observée au droit des stations 3-C localisée hors de l'influence du chantier et de la station 6-Aff. localisée sur l'affluent non-impacté par l'incident, mais soumise à l'influence du site de l'usine, la diversité du creek Baie Nord suite à l'incident reste faible. En effet, ces deux stations présentent entre septembre 2009 et Décembre 2009 un indice moyen significativement plus élevé (test t ;  $p = 0,02$  et  $p = 0,03$  respectivement entre 6-T 2009 et 6-Aff. et 6-T 2009 et 3-C), indiquant la présence de communautés mieux structurées ( $E = 0,7 \pm 0,04$  et  $0,72 \pm 0,04$  respectivement pour 6-Aff. et 3-C). A la lecture de ce seul résultat utilisant comme référence des stations non soumises aux mêmes facteurs confondant que le creek Baie Nord (influences anthropiques autres que l'incident), nous pourrions en déduire que suite à l'incident les communautés n'ont pu retrouver le degré de structuration normal. Or, si nous reprenons le premier résultat énoncé ci-dessus et obtenu à l'aide de la comparaison à l'état de référence de la station 6-T en phase pré-incident, nous pouvons constater que l'incident n'a que temporairement (avril-août) modifié le degré de structuration des communautés du creek Baie Nord, la déstructuration observée par la suite, du même ordre de grandeur que celle observée en 2006, apparaît imputables à d'autres facteurs.

L'analyse des résultats obtenus lors du suivi effectué suite à l'incident, a montré que ce déséquilibre était principalement lié à la présence en abondance de larves d'*Orthoclaadiinae*, de *Simuliidae* et d'*Hydroptilidae*, qui représentaient à eux seuls plus de 75 % des spécimens collectés entre septembre et décembre 2009 (respectivement 19,8 %, 36 % et 22 %). En 2006, les communautés observées entre septembre et décembre étaient également marquées par la présence en abondance de quelques *taxa* dominants. Il faut néanmoins noter qu'il ne s'agissait pas des mêmes *taxa*. En effet, les communautés étaient dominées par les larves de *Chironomidae* de la tribu des *Tanytarsini* (près de 50% des individus collectés entre septembre et décembre) et les Oligochètes (15%), les larves d'*Orthoclaadiinae* et de *Simuliidae* arrivant respectivement au 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> rang des espèces les plus abondantes (respectivement 9,5% et 7,1% des individus collectés entre septembre et décembre). Les larves d'*Hydroptilidae* présentaient quand à elles une abondance relative faible (1,4 % des individus collectés entre septembre et décembre). Ce dernier point paraît, malgré des indices de diversité similaires, indiquer un changement dans la nature des facteurs influençant la diversité biologique du creek Baie Nord entre 2006 et 2009 :

- En 2006 l'abondance des *Tanytarsini* plus résistants au colmatage du substrat semble sous-tendre la présence des effets résiduels d'une altération minérale ;
- En 2009 la présence en abondance de larves d'*Orthoclaadiinae* et surtout la montée en puissance des larves d'*Hydroptilidae*, deux *taxa* saprophiles, semble sous-tendre la présence d'une altération plutôt de type organique.

## Synthèse

### 4.2 EVOLUTION DES NOTES INDICIELLES

L'analyse comparée des notes IBNC calculées au droit de la station 6-T en 2009 suite à l'incident et des notes calculées pour la même période de l'année en 2006, met en évidence une légère détérioration de la qualité biologique du milieu pour l'année 2009, comme le traduit le léger écart observé entre les deux notes moyennes calculées pour cette période de l'année ( $IBNC = 5,34 \pm 0,35$  et  $4,83 \pm 0,39$  respectivement en 2006 et 2009). En 2006 la qualité a oscillé entre les classes « bonne » et « passable », en 2009 cette qualité a oscillé entre les classes de qualité « passable » et « mauvaise ». Rappelons que cette note traduit la présence d'une altération de type organique du milieu, l'information qu'elle fournit ici confirme donc les observations faites au travers le remplacement d'espèces dominantes observés entre les années 2006 et 2009 et la montée en puissance des *taxa* saprophiles (*Orthocladinae* et *Hydroptilidae*). Il est par contre important de souligner que cette différence ne peut-être imputée à l'incident acide et est à mettre en relation avec les concentrations élevées en nutriments phosphatés observés fin 2009 au sein du creek (Biotop, Mars 2010). De même si nous intéressons maintenant aux notes moyennes obtenues au droit des stations de référence 6-Aff. et 3-C, nous pouvons constater que ces dernières apparaissent similaires à celle observée en 2006 au droit de la station 6-T ( $IBNC = 5,43 \pm 0,43$  et  $IBNC = 5,46 \pm 0,24$  respectivement) et indique une qualité biologique fluctuant entre « bonne » et « passable ».

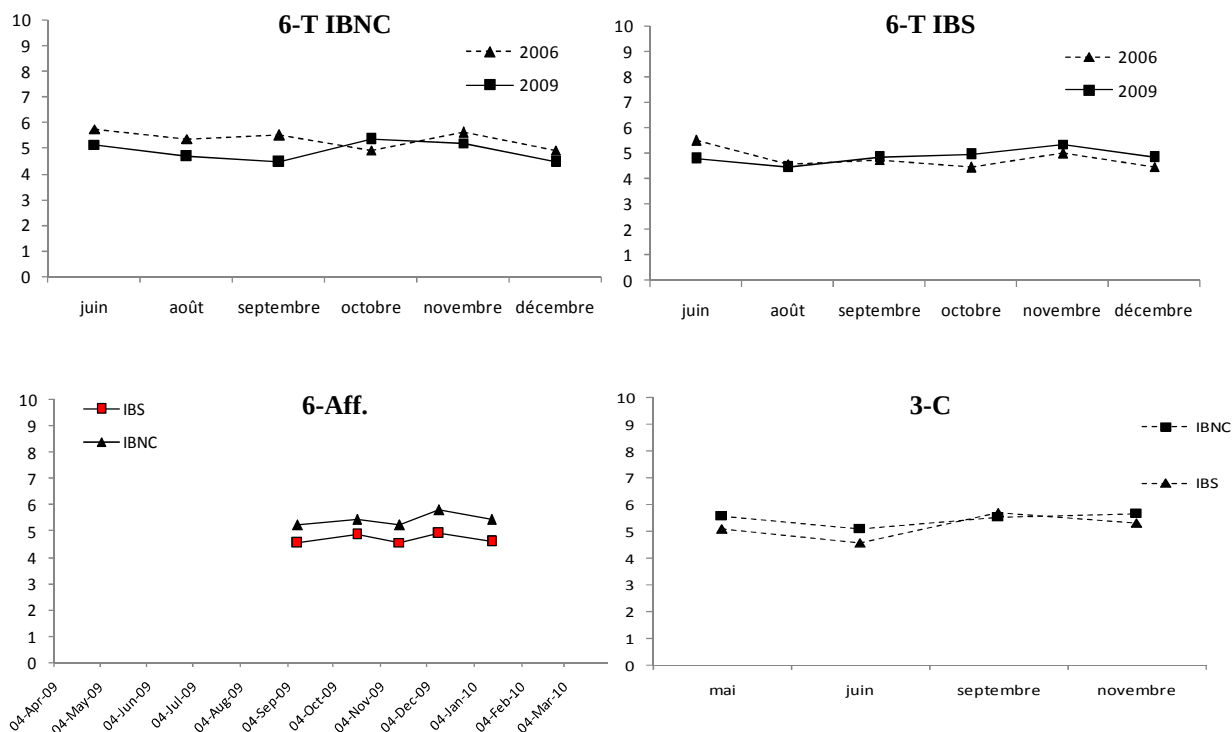


Fig. n°13 : Evolution des notes IBNC et IBS au droit de la station 6-T entre juin et décembre 2006 et 2009 et au droit des stations de référence 6-Aff. et 3-C.

## Synthèse

Si nous intéressons maintenant à la note IBS, nous pouvons constater l'absence de différence significative entre les valeurs obtenues en 2006 et 2009 au droit de la station 6-T ( $IBS = 4,78 \pm 0,4$  et  $4,85 \pm 0,3$  respectivement). L'incident n'a donc eu aucune influence sur le degré d'altération ou non altération minérale observé. La qualité biologique de cette station selon cet indice se maintient entre 2006 et 2009 à un état « passable » à « mauvais ». A titre de comparaison, si nous revenons maintenant sur la note moyenne obtenue entre septembre et décembre 2009 au droit de la station 6-Aff., nous pouvons constater qu'aucune différence n'est constatée entre cette dernière et la note obtenue au droit de 6-T, confirmant la non-influence de l'incident sur la note observée au sein du bras impacté du creek ( $IBS = 4,70 \pm 0,16$ ).

Les observations faites au niveau de la station 3-C, localisée hors de la zone d'influence du chantier de Vale-NC, nous permettent de constater que cette note, bien qu'en moyenne supérieure à celles observées au droit des stations 6-T et 6-Aff. localisées toutes deux dans la zone d'influence du site ( $IBS = 5,17 \pm 0,47$ ), montre d'importantes fluctuations entraînant à certaine période de l'année des déclassements de la qualité biologique du creek de la classe « passable » à « mauvaise » ( $IBS_{juin09} = 4,56$  au droit de 3-C). De même nous pouvons constater que sur cette station ne subissant et n'ayant subi aucun impact anthropique sur son bassin versant, la classe de « bonne » qualité n'a pas été atteinte à ce jour.

## Synthèse

### 5 CONCLUSIONS

---

Le principal objectif de cette étude et du suivi mis en place au droit du creek de la Baie Nord suite à l'incident survenu le 01 avril 2009 sur le site de Vale-NC, était de caractériser le degré et la cinétique de remédiation des communautés de macro-invertébrés benthiques suite à la forte perte de biodiversité généré par ce dernier.

L'ensemble des observations et analyses effectuées nous ont permis de constater que la biodiversité du creek tant en terme de richesse taxonomique que de diversité biologique a rapidement retrouvé une évolution similaire à celle observée en phase pré-incident (année 2006) : dès fin juin 2006, soit 2,5 mois après l'incident, la richesse présentait des valeurs similaires à celle de 2006 et, dès août, la diversité présentait des valeurs du même ordre de grandeur que celles observées en 2006.

La seule différence observée liée à la présence d'une altération d'origine organique comme en témoigne l'abondance des *taxa* saprophiles et la note IBNC, apparaît imputable à des facteurs autres que cet incident.

---

**En conclusion, nous pouvons donc retenir que l'incident survenu le 01 avril 2009 sur le site de Vale NC a surtout été à l'origine d'un impact de type « aigu » sur la biodiversité de creek de la Baie Nord.**

**La chute de biodiversité observée suite à ce dernier n'a été que temporaire et aucune perte définitive de *taxa* imputable à l'incident n'a été constatée.**

---

De même, ce travail de suivi et d'analyse a permis de mettre en évidence un degré de résilience élevée des communautés d'invertébrés benthiques comme le laisse supposer leur mode de fonctionnement (cycle très court un à deux mois et plusieurs cycles par an afin de répondre aux contraintes hydrauliques extrêmes des creeks tropicaux insulaires dont le régime peut être qualifié de « torrentiel »).

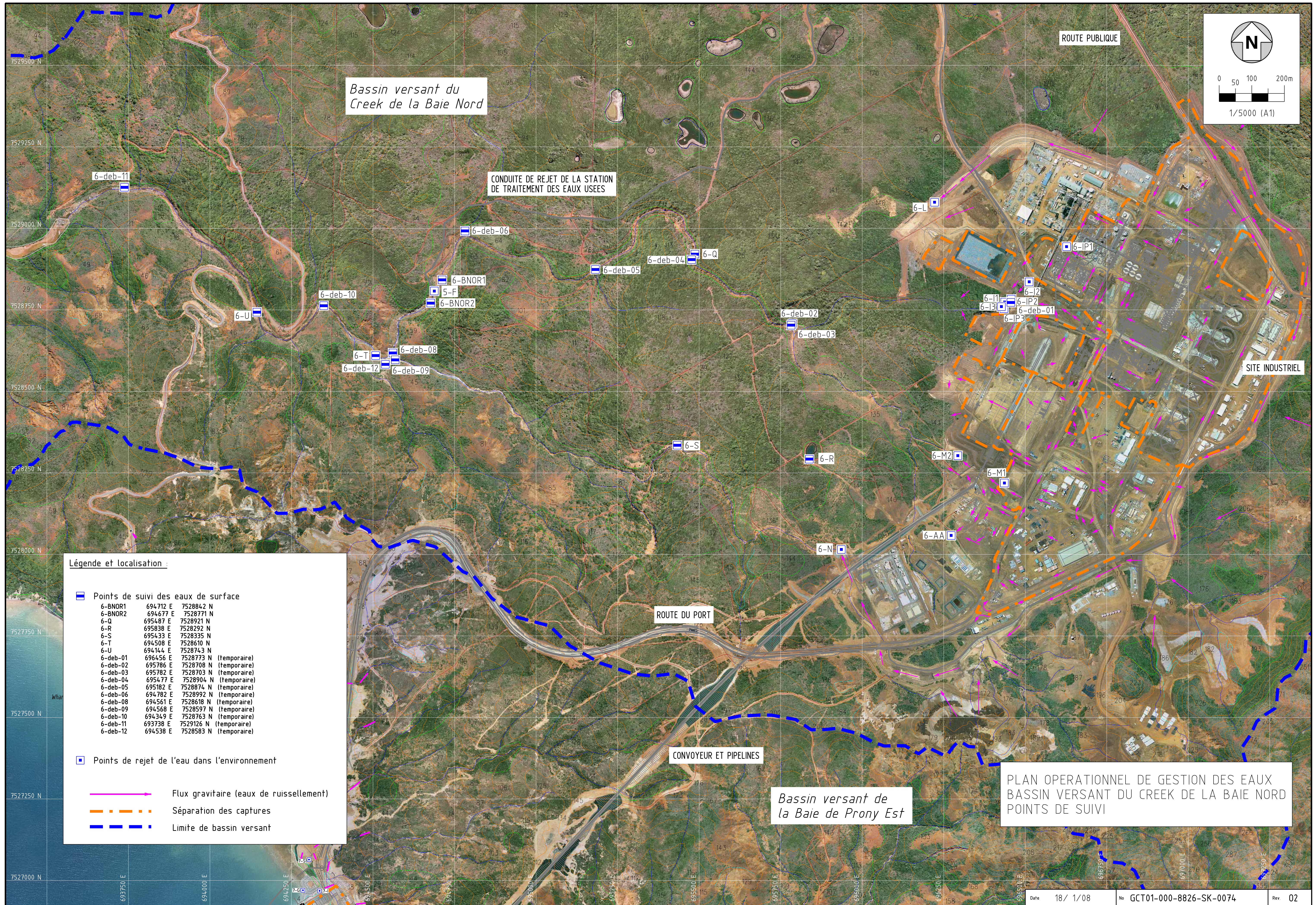
Ce travail a également permis de compléter les connaissances existantes sur la capacité de résilience en milieu tropical de ces communautés. En effet, à ce jour peu d'articles sur le sujet sont disponibles dans la littérature scientifique, alors que ces régions connaissent un net accroissement de leur degré d'urbanisation et d'industrialisation. Le degré de résilience des communautés est un caractère important à considérer lorsque l'on s'intéresse à la biodiversité d'un milieu et de fait les résultats issus de cette étude s'inscrivent en toute logique dans la « Démarche pour la préservation de la Biodiversité » entreprise par Vale-NC et la Province Sud.

**Synthèse**

---

## **Annexe 1 : Plan de situation des différentes stations de suivi**

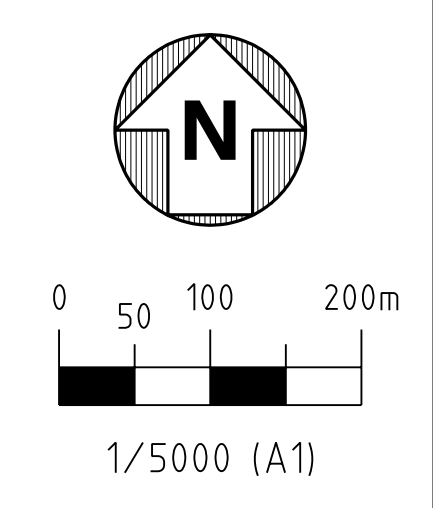




Bassin versant du  
Creek de la Baie Nord

CONDUITE DE REJET DE LA STATION  
DE TRAITEMENT DES EAUX USEES

ROUTE PUBLIQUE



SITE INDUSTRIEL

ROUTE DU PORT

CONVOYEUR ET PIPELINES

Bassin versant de  
la Baie de Prony Est

PLAN OPERATIONNEL DE GESTION DES EAUX  
BASSIN VERSANT DU CREEK DE LA BAYE NORD  
POINTS DE SUIVI

Légende et localisation :

- Points de suivi des eaux de surface
  - 6-BNOR1 694712 E 7528842 N
  - 6-BNOR2 694677 E 7528771 N
  - 6-Q 695487 E 7528921 N
  - 6-R 695838 E 7528292 N
  - 6-S 695433 E 7528335 N
  - 6-T 694508 E 7528610 N
  - 6-U 694144 E 7528743 N
  - 6-deb-01 696456 E 7528773 N (temporaire)
  - 6-deb-02 695786 E 7528708 N (temporaire)
  - 6-deb-03 695782 E 7528703 N (temporaire)
  - 6-deb-04 695477 E 7528904 N (temporaire)
  - 6-deb-05 695182 E 7528874 N (temporaire)
  - 6-deb-06 694782 E 7528992 N (temporaire)
  - 6-deb-08 694561 E 7528618 N (temporaire)
  - 6-deb-09 694568 E 7528597 N (temporaire)
  - 6-deb-10 694349 E 7528763 N (temporaire)
  - 6-deb-11 693738 E 7529126 N (temporaire)
  - 6-deb-12 694538 E 7528583 N (temporaire)
- Points de rejet de l'eau dans l'environnement
- Flux gravitaire (eaux de ruissellement)
- Séparation des captures
- Limite de bassin versant