

THESIS / THÈSE

DOCTEUR EN SCIENCES

Impact des rejets de la ville de Niamey (Niger) sur la qualité des eaux du fleuve Niger

Alhou, Bassirou

Award date:
2007

Awarding institution:
Université de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



**FACULTES UNIVERSITAIRES
NOTRE-DAME DE LA PAIX
NAMUR
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE**

**Impact des rejets de la
ville de Niamey (Niger)
sur la qualité des eaux
du fleuve Niger**



Dissertation présentée par
ALHOU Bassirou
en vue de l'obtention du grade
de Docteur en Sciences

2007

**FACULTES UNIVERSITAIRES
NOTRE-DAME DE LA PAIX
NAMUR
FACULTE DES SCIENCES**

**Impact des rejets de la ville de Niamey (Niger)
sur la qualité des eaux du fleuve Niger**

Dissertation présentée par
ALHOU Bassirou
en vue de l'obtention du grade
de Docteur en Sciences

Composition du jury :

Prof. Jean-Claude Micha, Promoteur, FUNDP, Belgique
Dr. Dodo Abdelkader, Co-promoteur, UAM, Niger
Dr. Boudewijn Goddeeris, IRSN, Belgique
Prof. Eric Depiereux, FUNDP, Belgique
Dr. François Darchambeau, FUNDP, Belgique

2007

© Presses universitaires de Namur & Bassirou Alhou

Rempart de la Vierge, 13
B - 5000 Namur (Belgique)

Toute reproduction d'un extrait quelconque de ce livre,
hors des limites restrictives prévues par la loi,
par quelque procédé que ce soit, et notamment par
photocopie ou scanner,
est strictement interdite pour tous pays.

Imprimé en Belgique
ISBN : 978-2-87037-550-1
Dépôt légal: D / 2007 / 1881 / 13

Cette thèse est réalisée en collaboration entre les Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix de Namur (Belgique) et l'Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger) sous la direction du Professeur Jean-Claude Micha et du Docteur AbdelKader Dodo. Je tiens à leur exprimer ma profonde gratitude pour les conseils scientifiques et techniques qu'ils m'ont prodigués, pour leur confiance et leur soutien.

Je remercie également le Professeur Mahamane Sâadou pour avoir accepté la responsabilité scientifique de ma thèse. J'exprime toute ma reconnaissance au Docteur Aboubacar Awaiss pour avoir initié cette thèse.

Les analyses des échantillons ont été effectuées au laboratoire d'analyse des eaux du Département de géologie de la Faculté des Sciences de l'Université Abdou Moumouni de Niamey. Je tiens ainsi à remercier le Doyen de la faculté, le Docteur Garba Zibo et le Département de géologie pour leur confiance et leur soutien. Je remercie également le Département de biologie pour son appui matériel.

Je remercie aussi vivement le Docteur Boudewijn Goddeeris de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique pour le laborieux travail de détermination des Chironomidae que nous avons accompli au sein de son laboratoire. Je joins à ces remerciements Monsieur Pierre Dumont pour son appui technique sans oublier tous les autres membres de ce laboratoire.

Tous mes remerciements au Docteur François Darchambeau pour son aide précieuse dans le traitement des données.

Mes remerciements vont aussi aux Professeurs Henri J. Dumont de l'Université de Gand et Charles Verstraeten, Professeur retraité pour leur contribution dans la détermination respective des Odonates et des Coléoptères.

Ma reconnaissance va également au Docteur Fodé Madé, Vice-Recteur de l'Université de Niamey pour avoir facilité le démarrage des activités de cette thèse.

Ma profonde gratitude va au Professeur Eric Depiereux, aux Docteurs Véronique Gosselain et Laurent Viroux ainsi qu'à Claude Fauville pour leur contribution à ce travail.

Je remercie également tous les membres du jury pour avoir bien voulu accepter de suivre et d'évaluer cette thèse.

J'exprime aussi mes remerciements à l'Autorité du Bassin du Niger (ABN) qui m'a fourni les données sur le régime du fleuve et au Ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et de la Lutte Contre la Désertification plus particulièrement Monsieur Azara Malam Sully et l'équipe du laboratoire de ce ministère (Messieurs Sanoussi, Illia, Ari,...) pour le soutien moral et matériel.

Je pense, au terme de ce travail, à Monsieur Boubé Sami et à mes vaillants piroguiers (Soumaïla Ganda, Zakou, Ayouba et Awilo) pour leur disponibilité et surtout leur participation active dans le travail.

Je n'oublie pas mes amis Moussa Nassamou, Sani Tankari, Bassirou Mamouda, Saïdou Madougou, Chaibou Dadi, Issifou Soli, Adamou Maïgandi, Salifou Bawa et Chékaraou Hassane pour l'ambiance chaleureuse et amicale mais surtout pour leur participation sur le terrain.

Que toute l'équipe de l'Unité de Recherche en Biologie des Organismes (URBO) soit assurée de ma profonde gratitude pour le temps agréable que nous avons passé ensemble. A Gisèle Verniers, je dis en plus merci pour son soutien moral, sa participation physique et matérielle aux activités de cette thèse.

Cette étude a été financée dans le cadre du programme de doctorat mixte de la Coopération Technique Belge (CTBBTC) que je remercie vivement à travers son personnel très actif qui a géré avec efficacité mon dossier (Marino Orban, Sarah Stijnen et Christine LeRoy en Belgique, Ahmadou Tidjani Youssoufou, Anne Meermans et Fifi au Niger). J'ai également bénéficié de l'appui financier des FUNDP (Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix), de l'IFS (Fondation Internationale pour la Science, Stockholm, Suède) et à travers elle du Comité de la coopération scientifique et technique de l'organisation de la conférence islamique (COMSTECH, Islamabad, Pakistan). Cet appui m'a servi à financer une partie des activités sur le terrain.

Grand merci à mes parents, Mariama et Alhou pour leur soutien durant mes longues années d'études et à ma belle famille, Bibata et Moustapha sous la responsabilité desquels j'ai laissé Maram, mon épouse, qui malgré la séparation géographique a su tout donner pour me soutenir dans cette épreuve.

Sigles & abréviations

ABA	Abattoir
Abla	<i>Ablabesmyia</i>
ABN	Autorité du Bassin du Niger
AC	Analyse des correspondances
ACC	Analyse canonique des correspondances
ACP	Analyse en composantes principales
Ade	<i>Adenophlebia</i>
Afr	<i>Afronurus</i>
Agr	<i>Agraptocorixa</i>
Amp	<i>Amphiops</i>
Asp	<i>Aspatharia</i>
Bae	<i>Baetis</i>
Bio	<i>Biomphalaria</i>
BRA	Brasserie
Bul	<i>Bulinus</i>
Bur	<i>Burnupia</i>
Cae	<i>Caenis</i>
Can	<i>Canthydrus</i>
Car	<i>Caridina</i>
Cen	<i>Centroptiloides</i>
Cer	Ceratopogonidae
CFN	Commission du Fleuve Niger
Chip	<i>Chironomus</i>
Chir 1	<i>Chironomini 1</i>
Chir 2	<i>Chironomini 2</i>
Clo	<i>Cloen</i>
Cor	Cordulidae
Cryp	<i>Cryptochironomus</i>
CCryp	<i>Cryptochironomini</i>
CT	Continental Terminal
Ctan	<i>Cf Tanytarsus</i>
Dbt	Débit
DCO	Demande chimique en oxygène
DDT	Dichloro-Diphényl-Trichloroéthane
Dicr	<i>Dicrotendipes</i>
Dip	<i>Dipseudopsis</i>
Dom	Domestiques
Ec	<i>Ecnomus</i>
EH j ⁻¹	Equivalents Habitants par jour.
Ela	<i>Elassoneuria</i>
ENI	Entreprise Nigérienne de Textile
ENO	<i>Enochrus</i>
Eph	<i>Ephemerellina</i>

FT	Filet troubleau
GEF	Global Environmental Facilities
GH	Grand Hôtel
Glyp	<i>Glyptotendipes</i>
Hco	<i>Hydrocyrius</i>
Hel	<i>Helminthocaris</i>
Hir 1	Hirudinés 1
Hir 2	Hirudinés 2
Hir 3	Hirudinés 3
Hme	<i>Hydrometra</i>
HNN	Hôpital National de Niamey
Hos	Hospitaliers
Hyd	<i>Hydrochus</i>
Ict	<i>Ictinogomphus</i>
Ind	Industriels
Isc	<i>Ischnura</i>
ITEA	Initiative Terre et Eau
JE	Jacinthe d'eau
K	Conductivité
Lan	<i>Lanistes</i>
Lib	Libellulidae
Lym	<i>Lymnaea</i>
Mac	<i>Macronema</i>
Man	<i>Mansonia</i>
Mchi	<i>Microchironomus</i>
MEAN	Mission d'Etudes et d'Aménagement du Fleuve Niger
Mel	<i>Melania</i>
Meso	<i>Mesovelia</i>
ME	Mess
Meu	<i>Micronecta</i>
Mpel	Micropelopiinae
Nau	<i>Naucoris</i>
Nem	Nemathelminthes
Neo	<i>Neohydrophilus</i>
Nil	<i>Nilodosis</i>
Not	<i>Notonecta</i>
Npe	<i>Neoperla</i>
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
Orth	Orthoclaadiinae
Pchi	<i>Parachironomus</i>
Phy	<i>Phyllogomphus</i>
PIB	Produit Intérieur Brut
Pil	<i>Pila</i>

Pol 1	<i>Polypedilum 1</i>
Pol 2	<i>Polypedilum 2</i>
Pot	<i>Potamonautes</i>
PR	Profondeur
Proc	<i>Procladius</i>
Pse	<i>Pseudagrion</i>
Ptot	Phosphore total
RABA	Rejets abattoir
Ran	<i>Ranatra</i>
RBRA	Rejets BRANIGER
RENI	Rejets ENITEX
RGH	Rejets Grand Hôtel
RGOU	Rejets Gountiyéna
Rhan	<i>Rhantaticus</i>
RHNL	Rejets Hôpital National Lamordé
RHNN	Rejets Hôpital National Niamey
RMES	Rejets Mess
ROLA	Rejets OLANI
RTAN	Rejets Tannerie
RUAM Rejets	Université Abdou Moumouni
SA 1	Saga 1
SA 2	Saga 2
SA	Substrat artificiel
SEQ-Eau	Système d’Evaluation de la Qualité des Eaux
Spe	<i>Spercheus</i>
Sph	<i>Sphaerium</i>
Ste	<i>Stenelmis</i>
Sub	Substrat
Syr	Syrphidae
Tab	Tabanidae
TAN	Tannerie
Tatm	Température atmosphérique
Temp	Température de l’eau
Thr	<i>Thraulius</i>
Tip	Tipulidae
TON 1	Tondibia 1
TON 2	Tondibia 2
UAM	Université Abdou Moumouni
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UBT	Unité Bétail Tropical
UCP	Unité de Charge Polluante
UCV	Unité de Couleur Vraie
Ven	Vitesse du vent
Xchi	<i>Xenochironomus</i>

Résumé

Ce travail est un premier pas dans l'étude de la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey. Il est basé sur la physico-chimie et les macroinvertébrés de cet écosystème aquatique.

L'approche physico-chimique met en évidence les changements de la qualité des eaux, le long des rives, en relation avec les rejets de la ville et en fonction du régime du fleuve. L'impact de ces rejets est très négligeable à l'échelle de l'écosystème à cause de la forte dilution. La demande chimique en oxygène, l'oxygène dissous, l'ammonium, les orthophosphates et le phosphore total sont les principaux facteurs environnementaux qui déterminent la pollution des eaux liée aux matières organiques et oxydables, aux matières azotées et phosphorées dans ce fleuve.

L'étude des macroinvertébrés fait ressortir 83 taxons répartis le long du fleuve Niger à Niamey. La description des peuplements de macroinvertébrés montre une variation de structure des communautés, en passant de l'amont à l'aval des points de rejets, caractérisée par une baisse de la richesse et de la diversité taxonomique en aval immédiat des rejets. La présence, dans certaines stations en aval immédiat des rejets, des taxons tels que *Chironomus* gr. *plumosus*, *Melania* sp., les familles des Syrphidae et des Culicidae, est une indication de la dégradation de la qualité des eaux liée à la matière organique. Par contre, les taxons comme *Thraululus* sp., *Elassoneuria* sp., *Afronurus* sp., *Centropiloides* sp., *Adenophlebia* sp., *Dipseudopsis* sp. et *Neoperla* sp., appartenant aux Ephéméroptères, Trichoptères et Plécoptères, reflètent une meilleure qualité de l'eau dans les stations de référence situées en amont de tous les points de rejets. L'importante diversité de la famille des Chironomidae (20 taxons) dans ce cours d'eau offre de bonnes perspectives pour son utilisation dans l'étude de la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey.

Les descripteurs qui expliquent significativement la distribution des communautés de macroinvertébrés le long du fleuve Niger à Niamey sont la matière organique (demande chimique en oxygène) et les nutriments (ammonium, orthophosphates et phosphore total). La technique d'échantillonnage au filet troubleau explique beaucoup plus d'inertie que les substrats artificiels. Quant à la jacinthe d'eau, elle présente peu d'intérêt dans l'étude de la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey à cause de sa présence uniquement en période de crue.

Summary

This survey is a first step in the study of water quality of the River Niger in Niamey. It is based on physicochemical factors and the macroinvertebrates inhabiting this aquatic ecosystem.

The physicochemical approach underlines the changes in water quality, along the banks, in relation with wastewater from the city of Niamey, and as a response to seasonal variations of water level. The impact of wastewater on the scale of the entire ecosystem appears very limited, because of the strong dilution. Chemical oxygen demand, dissolved oxygen, ammonium, phosphates and total phosphorus levels are the main environmental factors that determine both the pollution due to organic (and oxidizable) matter, and the pollution resulting from nitrogen and phosphorus-based chemicals in this river.

In this survey 83 taxa of macroinvertebrates were found along the River Niger in Niamey. The description of macroinvertebrates shows a variation of community structure, from upstream to downstream, that is characterized by a decrease of taxonomic richness and diversity downstream wastewater discharges. The presence of *Chironomus* gr. *plumosus*, *Melania* sp., families of Syrphidae and Culicidae indicates a deterioration of water quality due to organic matter in some stations near wastewater discharges. However, taxa like *Thraulius* sp., *Elassoneuria* sp., *Afronurus* sp., *Centroptiloides* sp., *Adenophlebia* sp., *Dipseudopsis* sp. and *Neoperla* sp. reflect a better quality of water in the reference stations located upstream of all wastewater discharges. The high diversity of Chironomidae (20 taxa) in this river makes them a good candidate taxonomic group to be used for the assessment of water quality in the River Niger near Niamey.

The factors which significantly explain the distribution of macroinvertebrates communities along the River Niger in Niamey are organic matter (chemical oxygen demand) and nutrients (ammonium, phosphates, total phosphorus). Results from net hand samples explain a higher fraction of total inertia than the ones obtained using artificial substrata. Water hyacinths play a limited role in the survey of water quality in the Niger near Niamey, because they are only present during floodperiods.

Introduction

La ville de Niamey, capitale de la République du Niger, a été bâtie de part et d'autre du fleuve Niger, sur une longueur de 15 km. La rive gauche est constituée d'un plateau d'altitude moyenne de 220 m, entaillé par des cours d'eau temporaires selon une direction Nord-Sud dont le principal est dénommé «Gountiyéna». En revanche, la rive droite est une plaine alluviale, de 185 m d'altitude environ, inondable en période de crue.

Niamey est peuplée de 707 951 habitants d'après le recensement général de la population et de l'habitat de 2001 (RGP/H/2001) et couvre une superficie de 670 km². L'approvisionnement en eau potable de cette ville est assuré par les prélèvements des eaux du fleuve Niger opérés dans deux stations de pompage, Goudel et Yantala, situées en amont. Avec l'urbanisation de la ville, ces stations sont actuellement situées dans la localité et donc reçoivent des rejets d'eaux usées et des déchets solides.

Niamey est doté d'un réseau de collecte d'eaux usées qui est en deçà des besoins d'assainissement de la ville. Le réseau est embryonnaire par sa longueur (105 km) et son degré de fonctionnement. Plus de 60 % du réseau est colmaté par des déchets solides ou visqueux provenant d'origines diverses, à savoir : 65 à 75 % de matières organiques, 8 à 10 % de papiers et chiffons, 3 % de verre et faïences, 2 à 3 % de plastique et cuir, 2 à 3 % de métaux (ANONYME, 2001).

La quantité des déchets solides produits chaque année est estimée à 273 750 tonnes sur la base de 0,75 kg par habitant par jour (ANONYME, 2001 ; ANONYME, 1995).

Seuls 21 % de ces déchets sont enlevés et utilisés en partie pour remblayer les petites dépressions dans la ville et les anciennes carrières situées à la périphérie immédiate.

Ces déchets proviennent pour la plupart d'établissements considérés dangereux, insalubres et incommodes. 431 établissements de ce type ont été dénombrés à Niamey sur un total de 739 établissements reconnus sur l'étendue du pays. Parmi ces 431 établissements, 10 sont des unités industrielles, à savoir : OLANI (Office du Lait du Niger), BRANIGER (Brasserie du Niger), Abattoir frigorifique, ONPPC (Office National de Produits Pharmaceutiques et Chimiques), LABOCEL (Laboratoire Central de l'Elevage), UNILEVER, ENITEX (Entreprise Nigérienne de Textile), Tannerie, NIGELEC (Niger Electricité), SONIDEP (Société Nigérienne des Produits Pétroliers).

Aux rejets de ces établissements s'ajoutent les rejets domestiques et ceux des 44 aménagements hydro-agricoles (AHA) établis dans la vallée du fleuve au Niger.

Le réseau d'eaux usées se confond, dans la pratique, au réseau de collecte des eaux pluviales. Ce dernier est constitué d'un canal à ciel ouvert dans la majorité des cas. Dans ces circonstances, ce réseau de collecte d'eaux pluviales reçoit les ordures ménagères et des déchets de toutes sortes notamment, des sachets plastiques. L'efficacité du réseau varie selon les quartiers et en fonction de la pluviosité. En effet, le réseau est opérationnel dans les quartiers résidentiels et le quartier administratif hérité de la colonisation. A présent, en dépit de textes législatifs et réglementaires sur le schéma d'aménagement urbain, le manque d'accès à ce réseau par les publics et privés encourage le développement des latrines dans les concessions. Ainsi, le taux d'accès aux infrastructures d'assainissement est de 25 % pour les toilettes améliorées et de 67 % pour les latrines traditionnelles, ce qui laisse 8 % des rejets directement dans la nature (ANONYME, 2001). Ces ouvrages qui ne sont pas contrôlés à cause de la non application des textes légaux affectent significativement la qualité de la nappe phréatique prélevée par la population citadine (20 %) n'ayant pas accès au réseau d'adduction d'eau potable (ALHOU, 2000).

Ces pratiques sont à l'origine de multiples nuisances : choléra, parasitose diarrhéique, schistosomose urinaire, salmonelloses, poliomyélite, fièvre typhoïde. Un taux de prévalence globale d'hématurie de 15,4 % a été obtenu d'après une enquête réalisée sur la Schistosomose urinaire à Niamey (LABBO *et al.*, 2003).

Niamey ne dispose pas de station publique d'épuration des eaux usées. Certains des établissements déjà cités traitent de manière privative leurs eaux usées avant de les rejeter dans le fleuve Niger. Cependant, on peut retenir que leur système de traitement n'est pas toujours opérationnel. Les normes nationales ne sont donc pas souvent respectées. Deux stations d'épuration expérimentales, traitant les rejets domestiques viennent d'être installées ; il s'agit des stations dénommées UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) et Jyokaso (SATO *and al.*, 2002).

Jyokaso est une micro-station conventionnelle complétée par un bassin de finition écologique. Elle recueille les eaux en provenance des toilettes d'une école primaire. Sa capacité est de $10 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$ soit 200 EH j^{-1} (Equivalents Habitants par jour).

La station UASB d'origine hollandaise est dotée d'une capacité de $100 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$, soit $2\,000 \text{ EH j}^{-1}$. Elle est raccordée à un des onze canaux de drainage des eaux usées et aboutit à un affluent du fleuve Niger (Gountiyéna). Ce canal draine en moyenne $4\,858 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$.

Les études menées à ce jour ont montré en particulier la dégradation de la qualité des eaux souterraines à Niamey (GUERO et GARBA, 1996 ; GROSS, 1999 ; ANONYME, 2001 ; LABBO et *al.*, 2003). Une analyse plus exhaustive a permis d'identifier le degré de dégradation des eaux du fleuve à partir des rejets d'eaux usées issues de la ville et de certains aménagements hydro-agricoles (ALHOU, 2000).

En dépit du suivi des eaux du fleuve Niger, notamment en aval des stations de pompage de Yantala et de Goudel, la dégradation de la qualité des eaux du fleuve Niger n'est pas évaluée dans le cours d'eau au droit et en aval de la ville.

Pour combler cette lacune, la présente étude se propose de comprendre le fonctionnement du fleuve Niger, à la hauteur de Niamey.

Une analyse diagnostique sera réalisée sur les polluants à travers l'inventaire des sources possibles identifiées parmi les principales activités humaines. Leur présence dans les eaux du fleuve sera confirmée par la chimie des eaux et l'étude des peuplements de macroinvertébrés.

Les résultats de l'étude seront présentés suivant les points ci-dessous : (1) un premier chapitre qui portera sur les généralités sera consacré au bassin du Niger; (2) un deuxième chapitre fera le point sur les sources de pollution de la ville de Niamey, sur la qualité et la quantité de leurs rejets liquides déversés dans le fleuve Niger à Niamey; (3) un troisième chapitre présentera les caractéristiques physico-chimiques des eaux du fleuve Niger à Niamey, (4) un quatrième chapitre traitera de l'étude des peuplements de macroinvertébrés, (5) un cinquième chapitre analysera la distribution des communautés des macroinvertébrés en relation avec les facteurs environnementaux, (6) un sixième chapitre présentera la synthèse et la discussion générale, et (7) enfin, une conclusion générale et perspectives.

Chapitre 1. Généralités sur le bassin du Niger

Le bassin du Niger appartient à un espace géographique hétérogène composé de dix pays. Il constitue une base de développement potentielle pour l'ensemble des pays concernés. La mise en valeur de ses ressources doit nécessairement passer par la maîtrise de ses caractéristiques à travers des actions concertées. Ce chapitre présente le bassin du Niger et les principales menaces sur les ressources en eaux en essayant d'analyser les données déjà existantes.

1.1. Caractéristiques du bassin du Niger

Le bassin du Niger présente de par son appartenance géographique des caractéristiques physiographiques, socio-économiques et écologiques variables.

1.1.1. Délimitation du bassin

Le bassin du Niger couvre dix pays pour une superficie active de 1500000 km² sur une superficie globale de 2 100 000 km² (Tab. 1.1). Neuf de ces pays sont organisés au sein d'une structure appelée Autorité du Bassin du Niger (ABN). Il s'agit du Bénin, du Burkina Faso, du Cameroun, de la Côte d'Ivoire, de la Guinée, du Mali, du Niger, du Nigeria et du Tchad.

Le bassin du Niger constitue par sa taille le deuxième système pluvial au monde (1/3 de la superficie totale de la sous région ouest africaine) (DESSOUASSI, 2002 ; OCAR, 2003). Il est subdivisé en Niger supérieur, delta intérieur du Niger, Niger moyen et Niger inférieur (Fig. 1.1).

Son cours d'eau principal, le fleuve Niger, prend sa source dans les montagnes du Fouta Djallon en Guinée à une altitude de 800 m environ et s'écoule dans une direction Nord-Est. Il passe ainsi par la bordure du Sahara après la traversée au Mali du delta intérieur, vaste plaine inondable d'une superficie de 80 000 km² qui dissipe par absorption et évaporation une importante partie de son potentiel hydraulique. Il est en longueur le troisième fleuve d'Afrique après le Nil et le Congo et le neuvième au monde avec 4 200 km dont 550 km en territoire nigérien.

1.1.2. Climat

Les régions du bassin du Niger appartiennent à trois grandes zones climatiques caractérisées par un fort gradient pluviométrique (2 000 mm au sud (Nigeria) et 50 mm à l'extrême Nord du bassin en Algérie)

et par l'alternance d'une saison des pluies de durée variable du Nord (2 à 3 mois) au Sud (6 à 8 mois) et d'une saison sèche. Il s'agit de la :

- zone guinéenne à climat humide à très humide,
- zone soudano-guinéenne à climat semi-humide,
- zone sahélienne à climat semi-aride à aride ou subdésertique.

L'évaporation est de 140-1 500 mm au Sud, 1 900-2 200 mm dans la boucle du Niger et 1 800 mm à l'extrême Nord.

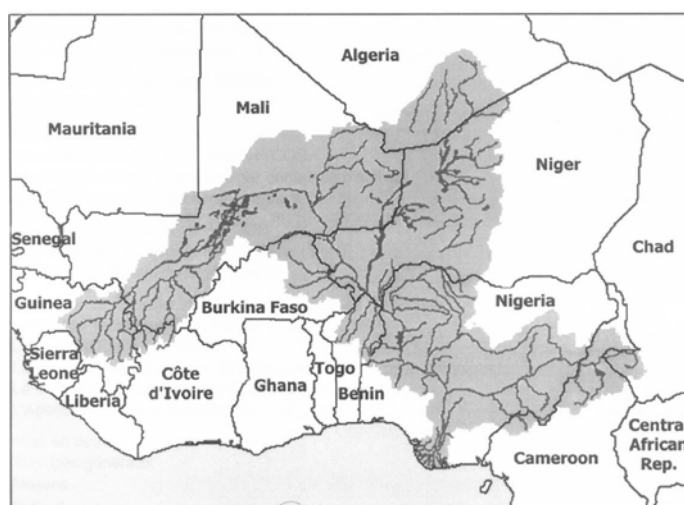


Figure 1.1 : Localisation du bassin du Niger (ANONYME, 2003)

1.1.3. Ressources en eaux

L'eau se trouve au cœur des secteurs clés de développement (ANONYME, 2003, GUERQUIN et *al.*, 2003). En témoignent la conférence internationale sur l'eau à Mar Del Plata en 1977, la conférence internationale sur les eaux douces à Bonn en 2001, les forum mondiaux de l'eau à Marrakech au Maroc en 1977 et à La Haye aux Pays-bas en 2000, et le sommet mondial sur le développement durable à Johannesburg en 2002. Malheureusement, beaucoup de pays (ne font pas exception ceux du bassin du Niger) souffrent du manque d'eau en quantité et/ou en qualité avec tous les risques que cela encourt pour les populations et les écosystèmes. En effet, il faut noter que plus d'un milliard de personnes au monde n'ont pas accès à l'eau potable, près de trois milliards n'ont pas accès à l'assainissement et

environ la moitié des zones humides sont détruites (GUERQUIN et *al.*, 2003).

Tableau 1.1 : Etendue du bassin et sa population (ANONYME, 2003)

Pays	Superficie totale du pays (km ²)	Superficie du pays dans le bassin (km ²)	% Superficie du bassin	% Superficie totale du pays dans le bassin	Population du bassin en 2002 (% de la population totale)
Algérie	2 381 740	90 000	4,10	3,80	-
Bénin	112 620	46 384	2,10	41,20	2 250 000 (36 %)
Burkina-Faso	274 000	76 621	3,50	28	2 755 000 (23 %)
Cameroon	475 440	89 249	4,10	18	890 000 (6 %)
Tchad	1 284 000	20 339	1	1,60	90 000 (1,30 %)
Guinée	245 857	96 880	4,5	39,40	2 830 000 (34 %)
Côte d'Ivoire	322 462	23 770	1,10	7,40	2.400.000 (16 %)
Mali	1 240 190	578 850	26,70	46,70	8 046 826 (82%)
Niger	1 267 000	564 211	26	44,50	3 220 000 (30%)
Nigeria	923 768	584 193	26,9	70	77 300 000 (61 %)
Total	7 527 077	2 170 497	100	28,80	99 781 826

Depuis fort longtemps, les pays du bassin du Niger se sont essentiellement préoccupés de la présence quantitative des ressources en eau (eaux de surface et souterraines), ignorant du coup les aspects qualitatifs. La gestion et la mise en valeur de ces ressources ne sont encore que très partielles, et alors qu'elles étaient jadis unilatérales et sectorielles. Elles s'inscrivent actuellement dans le cadre d'une vision partagée entre les pays du bassin pour un développement durable.

1.1.3.1. Eaux de surface

Le potentiel en eau de surface du bassin du Niger provient des eaux du fleuve Niger (Fig. 1.2) et de ses affluents (environ 160 milliards de m³ par an), des mares, des lacs et des retenues d'eau artificielles. Il sert à l'alimentation en eau des populations et à diverses activités telles que l'agriculture, l'élevage et l'industrie. Très peu de données sur la valeur quantitative de ces ressources sont disponibles par pays. Au Bénin, le fleuve Niger et ses affluents drainent environ 34 milliards de m³ par an, au Mali 56 milliards de m³ par an, au Burkina-Faso 0,9 milliards de m³ par an, au Niger 30 milliards de m³ par an d'écoulement superficiel et au Tchad environ 1 milliard de m³ par an (DIARRA et CISSE, 2004 ; ANONYME, 2004 ; GUEALBAYE et WALBADET, 2004 ; ANONYME, 1999).

Toutes ces données ne tiennent pas compte de nombreuses mares, des lacs existants et des retenues d'eau artificielles. A titre d'exemple, les retenues d'eau au Burkina-Faso mobilisent à elles seules environ 239 millions de m³ par an.

L'hydrologie du fleuve Niger est marquée par le phénomène de changement climatique caractérisé dans la partie sahélienne par la baisse généralisée d'environ 100 km vers le sud des isohyètes 200 à 1000 mm depuis 1970, ce qui représente une baisse de la pluviométrie de 20 à 30 % (DESSOUASSI, 2002).

Cette situation s'accompagne de la baisse du niveau des nappes souterraines affectant du coup leur pouvoir de régulation des étiages du fleuve Niger à des périodes critiques de l'année (JOSEPH et GIRARD, 1990, JICA, 2001).

Les débits moyens interannuels relevés sur trois stations d'observation représentatives du fleuve Niger (DESSOUASSI, 2002) reflètent ce phénomène :

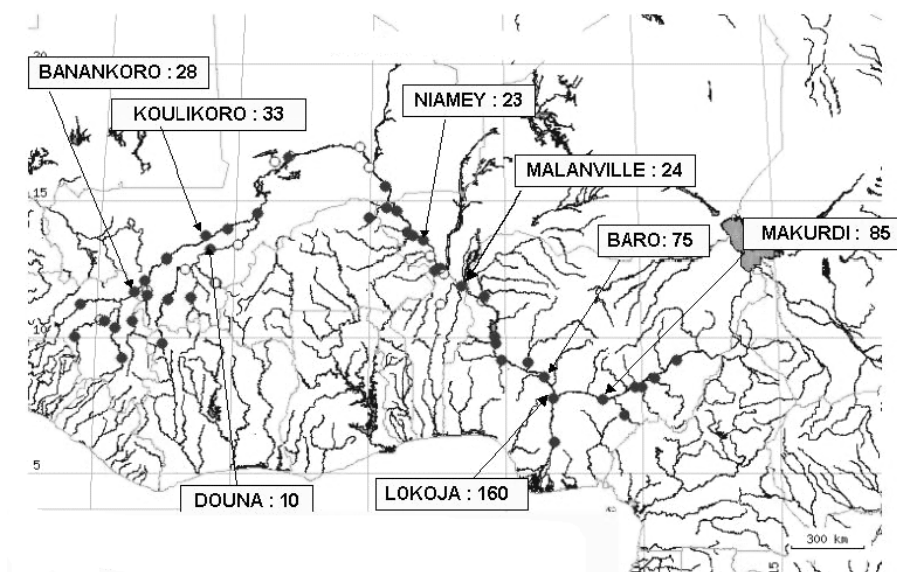


Figure 1.2: Potentiel hydrique en milliards de m³ par an à différentes stations du fleuve Niger (moyenne de 1970 à 2001 ;DESSOUASSI, 2002).

- à Koulikoro dans le Niger supérieur le débit est de 1 670 m³ s⁻¹ de 1950-1970 contre 1 039 m³ s⁻¹ de 1971-2001 soit une diminution de 37,7 % ;
- à Niamey dans le Niger moyen le débit est de 1.104 m³ s⁻¹ de 1950-1970 contre 704 m³ s⁻¹ de 1971-2001 soit une diminution de 36,2 % ;
- à Lokoja dans le Niger inférieur le débit est de 6 410 m³ s⁻¹ de 1950-1970 contre 5 066 m³ s⁻¹ de 1971-2001 soit une baisse de 20,9 %.

Malgré l'irrégularité des mesures à la plupart des stations d'observation, il ressort néanmoins de l'analyse des données disponibles une tendance à la diminution des débits, de 1971 à 2001, sur l'ensemble du cours d'eau. Cette baisse des débits est cependant moins accentuée en passant du Niger supérieur au Niger inférieur.

La géochimie des eaux du fleuve Niger est caractérisée par un faciès bicarbonaté sodique de l'amont à l'aval de la ville de Niamey (Fig. 1.3).

La conductivité dans le Niger supérieur est de 31 à 85 μS cm⁻¹ à 25 °C (LÉVÊQUE et PAUGY, 1999 ; ANONYME, 1996).

1.1.3.2. Hydrogéologie

Trois systèmes aquifères caractérisent l'ensemble du bassin du Niger; il s'agit des aquifères discontinus du socle, des aquifères généralisés appartenant à des formations sédimentaires et des aquifères alluviaux du fleuve ou des vallées (GREIGERT, 1957).

1.1.3.2.1. Aquifères du socle

Les zones de fracturation et d'altération constituent les lieux privilégiés d'infiltration des eaux contenues dans les aquifères discontinus du socle. Ce sont des formations d'âge Cambrien à Infracambrien. La lithologie de ces aquifères est variable à l'échelle du bassin. Elle est composée de :

- granites, quartzites et schistes au Niger ;
- granites, micaschistes, arkoses, rhyolites, andésites et amphiboles au Tchad ;
- granito-gneiss en Côte d'Ivoire ;
- gabbros, diorites, syénites, granites, gneiss, amphibolites, micaschistes, schistes et quartzites au Cameroun.

Elle est par contre très peu connue dans certains sous-bassins comme la Guinée qui ne dispose pas de carte hydrogéologique.

Les ouvrages de captage de ces aquifères ont des profondeurs pouvant atteindre 65 m et des débits atteignant exceptionnellement $15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (GREIGERT, 1957).

1.1.3.2.2. Aquifères des formations sédimentaires

Les formations sédimentaires abritent des nappes généralisées; ces nappes sont libres, semi-captives ou captives. Ces formations ont des faciès variables d'un sous-bassin à un autre. Elles sont:

- gréseuses, grésocalcaires, argilo-sableuses, marneuses et sableuses au Cameroun. Elles sont soit d'âge crétacé avec des épaisseurs pouvant atteindre 500 m, soit quaternaire (épaisseur égale à 40 m environ), soit pliocène supérieur (200 à 250 m d'épaisseur) ou inférieur (20 à 80 m d'épaisseur), soit continental terminal (200 à 400 m d'épaisseur) ou continental intercalaire (200 m d'épaisseur par endroit) ;

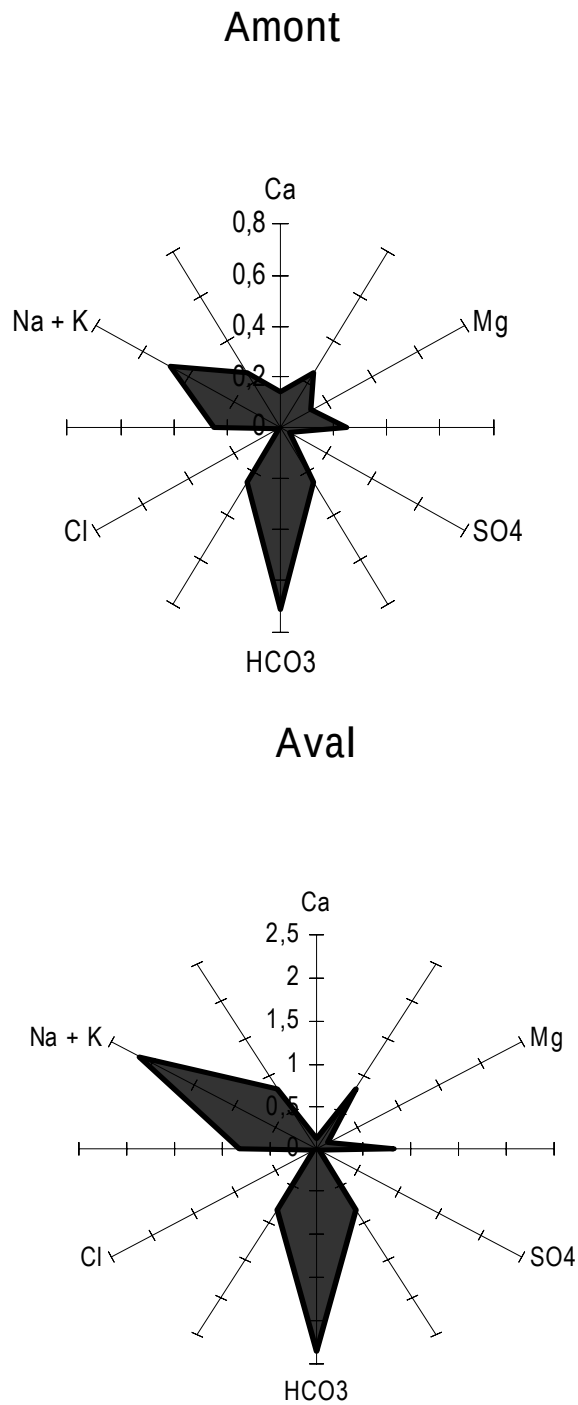


Figure 1.3 : Faciès chimique des eaux du fleuve Niger (concentrations ioniques en meq l⁻¹) en amont et en aval de la ville de Niamey de septembre à octobre 1999 (ALHOU, 2000)

- schisteuses avec des profondeurs de 63 m, une épaisseur altérée de 28 m et un débit de $3,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ puis sableuses et argileuses avec une profondeur de 50 m, une épaisseur de 50 à 200 m en Côte d'Ivoire. Ces formations sont à dominance crétacé mais aussi quaternaire et continental terminal ;
- gréseuses, conglomérats, calcaires, sableuses avec des alternances soit de marnes, soit de lits de silts et d'argiles au Tchad. Elles sont d'âge crétacé inférieur, crétacé supérieur et continental terminal (800 m d'épaisseur, $6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ à $12 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ de débit);
- gréseuses avec 150 à 500 m d'épaisseur et 5 à $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ de débit au Bénin. Elles appartiennent au continental terminal ;
- gréseuses, gréso-argileuses, sableuses, gréso-argileuses cimentées et quartzitiques au Niger. Elles ont une épaisseur d'environ 800 m et un débit de $100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Elles appartiennent au Continental Intercalaire, à l'Hamadien, au Namurien, au Viséen et au Dévonien.

Les nappes de ces formations sédimentaires sont favorables à l'infiltration des eaux, ce qui ne les met pas à l'abri des pollutions.

1.1.3.2.3. Aquifères des formations alluvionnaires

Les aquifères alluvionnaires sont contenus dans des formations issues des alluvions du fleuve ou des vallées. Ces formations sont d'âge quaternaire et sont composées d'argiles, de sables et de graviers. Elles abritent des nappes libres à faible puissance et influencées par la pluviométrie.

Tout comme les eaux de surface, les eaux souterraines contribuent à la satisfaction des besoins des populations (agriculture, élevage, industrie, boisson). Elles sont quantitativement peu connues à l'échelle du bassin. Elles peuvent être estimées à 13 milliards de m^3 en Guinée, à 59 milliards de m^3 de réserve totale au Burkina-Faso, à 2,25 milliards de m^3 d'écoulement souterrain annuel plus 1 500 milliards de m^3 de réserve non renouvelable au Niger et enfin 15,7 milliards de m^3 par an de réserve renouvelable au Tchad (DIARRA et CISSE, 2004 ; ANONYME, 2004 ; DIALLO et DIALLO, 2004 ; GNAGNE et CISSE, 2004 ; GUEALBAYE et WALBADET, 2004 ; ANONYME, 1999).

1.2. Intérêts socio-économiques

Les avantages socio-économiques que recèle le bassin du Niger résident dans son potentiel hydrique, agro-sylvo-pastoral, halieutique, faunique et énergétique.

1.2.1. Agriculture

Le bassin du Niger dispose d'un important potentiel en terres cultivables. A titre indicatif, ce potentiel se chiffre à environ 12 millions d'hectares au Niger, 17 millions d'ha au Mali et 2 millions d'ha au Bénin. L'agriculture se place au premier rang des activités menées dans le bassin. Elle est pratiquée sous pluie et sous irrigation par la majorité de la population active (environ 80 %) et est tributaire des aléas climatiques (ANONYME, 2004 ; DIARRA et CISSE, 2004 ; DIALLO et DIALLO, 2004; GNAGNE et CISSE, 2004 ; GUEALBAYE et WALBADET, 2004). Elle concerne les cultures vivrières et les cultures de rente. Elle contribue significativement au PIB (Produit Intérieur Brut) des pays concernés (41 % au Niger; 12 % en Guinée; 40 % au Burkina-Faso y compris l'élevage; 26 % en Côte d'Ivoire par exemple).

La superficie irrigable du bassin du Niger s'élève à environ 2 500 000 ha dont 20 % seulement sont mis en valeur. Certains de ces sites sont affectés par la salinisation (20 % des terres irriguées dans la vallée du fleuve Niger à Niamey) et l'alcalinité, entraînant de ce fait la baisse des rendements. Ces phénomènes seraient liés aux mauvaises pratiques agricoles, entre autres le mauvais contrôle de l'irrigation et le système de drainage très peu fonctionnel (ALHOU, 2000), et à l'intensité de l'évapotranspiration (1 400 à 1 500 mm en moyenne par an dans la partie guinéenne au sud du Golfe de Guinée, 1 900 à 2 200 mm dans la partie sahélienne de la boucle du Niger, 1 800 mm à l'extrême Nord de l'Algérie).

1.2.2. Elevage

La région du fleuve Niger constitue une zone d'attrait pour le bétail surtout en période de soudure caractérisée par le tarissement de la plupart des points d'eau. L'effectif du cheptel dans le bassin demeure encore très peu connu. Le cheptel est composé de bovins, ovins, caprins, camelins, asins, équins et porcins. L'élevage de la volaille est également pratiqué.

L'étude diagnostic effectuée par le projet GEF-PNUD/ABN (1999) révèle le chiffre de 12 millions de bovins, soit environ 16,25 millions d'Unité Bétail Tropical (UBT) sans compter les petits ruminants qui sont au nombre de 300 000 en Guinée, 2 millions au Mali, 850 000 au Niger et 9 millions au Nigeria.

1.2.3. Pêche

La pêche est une pratique courante dans le bassin du Niger et très peu contrôlée. Même si la production de poissons à l'échelle du bassin n'est pas très bien connue, les constats montrent une tendance à la baisse de la production halieutique au fil du temps.

Cette situation est illustrée au Niger par une production de 20 000 tonnes par an en 1969 contre 9 000 tonnes par an en 1980 (KRISTENSEN, 1994) et 4 000 tonnes par an en 2003 (OCAR, 2003).

La baisse de cette production halieutique est attribuée à l'occupation des zones de frayères favorables à la reproduction du poisson par les activités humaines (aménagements hydro-agricoles par exemple), à la baisse du régime du fleuve, à la pêche non contrôlée et à l'ensablement du lit du fleuve.

1.2.4. Energie

Le bassin du Niger regorge de nombreux barrages fonctionnels à buts agricoles, hydroélectriques ou multiple et de nombreux autres en projet.

Ces ouvrages fournissent 30 % du potentiel énergétique productible évalué à 26 000 Giga Watts par heure (Gwh) soit 7 000 Gwh.

1.3. PROBLEMATIQUE DE LA GESTION DU BASSIN DU NIGER

1.3.1. Projet de normes nigériennes de rejets

Le Niger s'est doté en 2004 d'un projet de normes de rejets liquides placé sous la tutelle du Ministère du Commerce, de l'Industrie, de l'Artisanat et de la Promotion du Secteur Privé. Ces normes, sans être sectorielles, fixent les valeurs limites selon le mode de traitement (présence ou absence de traitement) et le milieu récepteur (Annexe 2.2). En plus des valeurs indicatives, ces normes interdisent le rejet, sans traitement préalable, dans le milieu naturel des eaux usées provenant du lavage des métaux lourds et ionisants, des centres de santé, des laboratoires de recherches (médicales, scientifiques, chimiques), des industries, des abattoirs, des ateliers, des tanneries et des ménages où l'eau usée contient des matières fécales non issues des fosses septiques. Il est également interdit de déverser des huiles, des graisses, des colorants, des composés cycliques hydroxyles et leurs dérivés. Les conditions d'épandage de ces rejets liquides sont également spécifiées (ANONYME, 2004).

1.3.2. Cadre institutionnel

La gestion du bassin du Niger est sous l'Autorité du Bassin du Niger (ABN) créée en 1950 sous l'appellation de la Mission d'Etude et d'Aménagement du fleuve Niger (MEAN) puis de la Commission du Fleuve Niger (CFN) en 1964 avant de devenir l'ABN en 1980. Elle a pour missions de :

- élaborer un Plan Directeur d'aménagement du bassin du Niger centré sur le Delta Intérieur au Mali ;
- encourager, promouvoir et coordonner les études et les programmes relatifs aux travaux de mise en valeur des ressources du bassin ;
- promouvoir la coopération entre les pays membres et assurer un développement intégré du bassin par la mise en valeur de ses ressources dans les domaines de l'énergie, l'hydraulique, l'agriculture, l'élevage, la pêche, la pisciculture, la sylviculture, l'exploitation forestière, les transports et communications, et l'industrie.

Actuellement, l'ABN s'est engagée, avec l'appui de partenaires stratégiques, dans le processus de la Vision partagée qui augure des perspectives heureuses pour le développement durable du bassin.

1.3.3. Principales menaces

Le bassin du Niger est sujet à d'importantes menaces dont celles liées aux phénomènes naturels (ensablement, érosions hydrique et éolienne,...) et celles causées par les activités anthropiques (agriculture, élevage, pêche, industrie,...). Si ces phénomènes sont des faits réels qui s'observent, ils n'ont malheureusement pas fait l'objet d'une quantification effective ni d'un traitement conséquent malgré les risques perceptibles sur les potentialités dont regorge ce bassin. Il serait ainsi mal aisé d'établir une situation de référence relative à ces phénomènes par manque de données régulières et fiables.

A l'heure actuelle par contre, la sauvegarde et la protection de ces potentialités sont des questions incontournables pour juguler le spectre de la pauvreté et de l'insécurité alimentaire dans la majorité des pays du bassin classés parmi les derniers du monde selon l'Indice de Développement Humain du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD).

1.3.3.1. Phénomènes naturels

Les facteurs naturels contribuent très fortement à la dégradation des ressources du bassin du Niger (YAHAYA, 2000). Au nombre de ceux-ci on peut citer :

- l'envahissement du cours d'eau par les végétaux aquatiques flottants parmi lesquels *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms et *Pistia stratiotes* L (DEMBELE, 2002 ; ANONYME, 2002). La présence de ces plantes aquatiques flottantes dans le fleuve Niger affecte la navigation sur le fleuve, l'irrigation normale des rizières, les installations hydro-électriques, la pêche et la santé humaine avec la prolifération des vecteurs de maladie comme les moustiques (SEDJRO et *al.*, 2001; ATTIKOU, 2002 ; ANONYME, 2000 ; DESSOUASSI, 2002) ;
- l'ensablement du lit du fleuve modifiant par endroit le cours du fleuve surtout en période d'étiage avec pour conséquence la réduction du pouvoir auto-épurateur du fleuve Niger (KRISTENSEN, 1994) et la compromission à long terme des écoulements en aval ;
- la désertification, l'érosion hydrique et éolienne qui affectent du coût le potentiel productif (JICA, 2001 ; ITEA, 2004).

Il s'agit là de menaces bien réelles auxquelles s'ajoute la pollution domestique, agricole et industrielle, n'épargnant à la fois ni la population riveraine, ni l'équilibre hydrobiologique.

1.3.3.2. Phénomènes anthropiques

La présence humaine de plus en plus galopante dans le bassin du Niger (environ 100 millions d'habitants) exerce une pression importante sur ses ressources incontournables pour subvenir aux besoins croissants de cette population pour la plupart démunie. La réponse à ces besoins se traduit par le développement d'activités diverses notamment l'agriculture, l'élevage, la pêche et l'exploitation minière qui présentent sans nul doute un impact négatif sur l'environnement de ce milieu. L'évaluation de ces impacts nous amène à catégoriser ces activités en sources ponctuelles (unités industrielles, habitations) et en sources diffuses (agriculture, élevage, mines) de pollution.

1.3.3.2.1. Sources ponctuelles

Il s'agit des unités industrielles et des habitations.

a. Sources industrielles

La plupart des pays du bassin du Niger sont à un développement industriel très peu avancé présentant des risques relativement moindres pour l'environnement mais non négligeables. La nature et l'ampleur de ces risques restent très peu connues et variables suivant les neuf pays du bassin. A l'heure actuelle, le Bénin et le Burkina-Faso ne disposent pas d'industries dans le bassin du Niger. Les types d'unités industrielles (Tab. 1.2) recensées (KOTSCHOUBEY et KONE, 2005) dans le bassin sont :

- agro-alimentaires : brasserie (Cameroun et Niger), tannerie (Cameroun, Mali, Niger), huilerie (Cameroun, Guinée, Mali et Niger), abattoir (Mali, Niger et Tchad), laiterie (Mali et Niger), usine d'égrenage de coton (Côte d'Ivoire et Tchad), usine de transformation de mangue et de noix de cajou (Côte d'Ivoire), usine de fabrication de confiture (Côte d'Ivoire), usine de décortilage de riz (Côte d'Ivoire), usine de fabrication de tabac (Mali et Nigeria) ;
- textile (Cameroun, Mali, Niger et Nigeria) ;
- industries chimiques: savonnerie (Cameroun, Guinée, Mali et Niger) ; laboratoires (Cameroun, Mali, Niger) ; fabrique de batteries, peintures et piles (Mali) ;
- usine de caoutchouc (Nigeria) ;
- pétrochimie (Nigeria) ;
- sidérurgie (Nigeria) ;
- papier (Nigeria) ;
- menuiserie (Nigeria) ;
- calcaire et marbre (Cameroun) ;
- teintureries (Mali et Niger) ;
- exploitation artisanale d'or (Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Guinée, Mali, Niger et Tchad) ; seul le Mali dispose de mines d'or industrielles.

Les rejets liquides industriels déversés vers le fleuve Niger sont estimés à environ $2\,500\text{ m}^3\text{ j}^{-1}$ au Mali et au Niger.

Au Nigeria, les déversements accidentels de pétrole enregistrés entre 1976 et 1980 s'élèvent à 784 tonnes pour une quantité estimée à 293 020 tonnes de pétrole (CALAMARI, 1985). Ces déversements ont

pour conséquences la destruction des terres agricoles, la contamination et l'intoxication de la vie aquatique des milieux concernés notamment dans le delta du Nigeria et la pollution des eaux souterraines.

De manière qualitative, ces rejets renferment des substances nuisibles (Tab. 1.2) à l'environnement si les normes de rejets ne sont pas respectées.

b. Pollution domestique

La population vivant dans le bassin du Niger est estimée à environ 100 millions d'habitants avec la présence au bord du fleuve Niger d'importantes villes comme Bamako, Koulikoro, Ségou, Mopti, Gao et Tombouctou au Mali et Niamey au Niger. L'emplacement de ces villes qui ne sont pas dotées de système de collecte et de traitement adéquat des eaux usées domestiques est une menace réelle pour le fleuve Niger qui constitue leur exutoire principal.

La production des effluents est évaluée à environ $12\,144\text{ m}^3\text{ j}^{-1}$ au Niger (ANONYME, 2001). PLEA et *al.* (2005) estiment la charge polluante journalière déversée par la ville de Bamako dans le fleuve Niger à 213 g de NH_4^+ , 20 g de NO_2^- , 52 g de NO_3^- , $102\text{ g de PO}_4^{3-}$, 14 kg de DCO et $7\,143\text{ g de DBO}_5$.

L'évacuation de ces rejets s'effectue sans traitement préalable donc sans respect des normes nationales de rejets.

La charge polluante domestique à travers le bassin du Niger peut être calculée sur la base des ratios suivants : $76\text{ g hab}^{-1}\text{ j}^{-1}$ de DCO, $55\text{ g hab}^{-1}\text{ j}^{-1}$ de MES et $9\text{ g hab}^{-1}\text{ j}^{-1}$ de nutriments (azote et phosphore). Ces charges représentent une base théorique d'évaluation du flux de pollution domestique en absence de toutes autres informations quantitatives (MOULAY, 2005 ; TUSSEAU-VUILLEMIN et *al.*, 2001).

La pollution totale estimée rejetée par l'ensemble des habitants du bassin du Niger est de $2\,767\,948$ tonnes par an de DCO, $2\,003\,120$ tonnes par an de MES et $327\,783$ tonnes par an de N et P (Tab. 1.3).

1.3.3.2.2. Sources diffuses

Les activités menées par l'homme dans le bassin du Niger, au nombre desquelles l'agriculture, l'élevage, la pêche et l'exploitation minière, constituent des sources de pollution diffuses pour l'environnement. Elles sont par contre vitales pour les 100 millions de personnes se trouvant dans le bassin.

Tableau 1.2 : Nature et composition des rejets industriels

Type d'Industrie	Nature	Contenu des rejets
Agro-alimentaire	Tabacs	Effluents avec haute teneur organique, agents nettoyants et agents étioquants, sel, matière en suspension (fibres, terre).
	Brasserie	Rejets organiques, soude
	Tannerie	Rejets acides, alcalins, MES, matière organique, chlorures, sulfures, chrome
	Abattoir	Matière organique, agents pathogènes, MES, huiles et graisses
	Huilerie	Graisses, rejets organiques, fibres
	Laiterie	Huiles et graisses, matières organiques, rejets acides, hypochlorites, matière en suspension.
	Transformation mangue et noix de cajou	Rejets organiques
	Fabrication confiture	Rejets organiques

	Egrenage coton	Graisses, rejets organiques, fibres
	Décorticage riz	Rejets organiques
Chimiques	Savonnerie	Rejets toxiques, solvants organiques, graisses, soude
	Laboratoires	Rejets biomédicaux, Solvants organiques, MES, CO, NO _x , SO _x
	Autres (batterie, peinture, pile)	Rejets toxiques cancérigènes, éthylène, propylène, benzène, butadiène, 1,2-dichloroethane, chlorure de vinyle, solvants organiques; particules, CO, NO _x , SO _x , métaux (Zn, Hg, Mn)
Menuiserie/bois		Substances utilisées dans le traitement du bois : hydrocarbures aromatiques polynucléaires (HAP), pentachlorophenol, pesticides, dioxines, chrome, cuivre, et arsenic
Minerais		Acides, métaux lourds, sulfates
Papier		Rejets organiques, soufre, NO _x , organochlorés,

		nutriments, métaux lourds
Pétrochimique, charbon, caoutchouc, plastique		Rejets toxiques cancérigènes, éthylène, propylène, benzène, butadiène, 1,2-dichloroethane, chlorure de vinyle, solvants organiques; particules, CO, NO _x , SO _x
Sidérurgie		Poussière, acides, NO _x , SO _x , hydrocarbures, CO, dioxines, cyanures, fluorures, métaux lourds, graisse, DCO
Textiles et vestimentaire		Solvants toxiques, rejets alcalins, matière organique, MES, huile, colorants, métaux, bactéries, pesticides

a. Agriculture

La pratique de l'agriculture dans le bassin du Niger provoque d'importants impacts sur le milieu par le déboisement qu'elle occasionne d'une part et d'autre part par l'utilisation des fertilisants et produits phytosanitaires. Il n'existe pas de statistiques exhaustives pour l'ensemble du bassin. Néanmoins, il existe des données fragmentaires dans certains Etats. Ainsi, la consommation d'engrais par an est estimée à 244 602 tonnes au Bénin, 597,8 tonnes au Burkina-Faso, 27 431 tonnes au Cameroun, 75 493 tonnes au Mali, 12 196 tonnes au Niger et 4 888 tonnes au Tchad (KOTSCHOUBEY et KONE, 2005). Les principaux types d'engrais utilisés sont l'urée, le

NPK 15-15-15, le super triple, le phosphate et le DAP (Di-Amino-Phosphate).

Tout comme les fertilisants, les volumes des produits phytosanitaires utilisés à l'échelle du bassin ne sont pas connus avec exactitude. Les statistiques disponibles (KOTSCHOUBEY et KONE, 2005) concernent le Cameroun, le Mali et le Tchad pour une consommation annuelle respective de 258 361 l (116 609 l d'herbicides et 141 752 l d'insecticides), 1 740 620 l (248 839 l d'herbicides et 1 491 781 l d'insecticides) plus 113 298 kg de fongicides et 5 012 000 l d'insecticides. Un cas de pollution par les produits phytosanitaires a été révélé au Mali où la pollution du fleuve Niger par le lindane et le diazinon a compromis pendant deux jours en 1993 l'utilisation de l'eau du robinet. Un autre risque de pollution par les produits phytosanitaires est l'existence dans le bassin d'importants stocks périmes (265 tonnes au Mali) et l'utilisation des produits hautement toxiques comme le Ciper méthrine dans la culture du coton au Tchad.

Tableau 1.3 : Estimation du flux de pollution domestique sur l'ensemble du bassin du Niger en 2002.

Sous bassin	Population (habitants)	Charge polluante en tonnes/an		
		DCO	MES	N et P
Bénin	2 250 000	62 415	45 169	7 391
Burkina-Faso	2 755 000	76 424	55.307	9 050
Cameroun	890 000	24 689	17 867	2 924
Côte d'Ivoire	2 400 000	66 576	48 180	7 884
Guinée	2 830 000	78 504	56 812	9 297
Mali	8 046 826	223 219	161 540	26 434
Niger	3 220 000	89 323	64 642	10 578
Nigeria	77 300 000	2 144 302	1 551 798	253 931
Tchad	90 000	2 497	1 807	296
Total	99 781 826	2 767 948	2 003 120	327 783

b. Elevage

Le bassin du Niger constitue une zone de replis stratégique pour les animaux. Il accueille en période de soudure un cheptel important dont la présence dans le bassin peut constituer une source de pollution non négligeable des ressources en eaux. Il s'avère difficile d'établir avec précision la charge polluante réelle qui affecte les ressources en eaux sans maîtriser le mécanisme par lequel cette pollution s'effectue et sans aussi disposer de statistiques fiables et effective sur le nombre total d'animaux dans le bassin.

Néanmoins, la charge polluante théorique engendrée par cette présence animale peut être estimée en kg d'azote par an en appliquant les coefficients 16,4 pour les bovins et 2,45 pour les ovins et caprins (GLOYNA, 1972).

Si une unité de charge polluante (UCP) correspond à 10 kg N an^{-1} , la charge polluante annuelle à l'échelle du bassin occasionnée par le bétail correspondrait à 1 538 tonnes d'azote (Tab. 1.4).

c. Pêche

Elle est souvent très mal organisée à cause de la méconnaissance et du non respect de la réglementation en la matière et pratiquée avec des moyens inappropriés comme l'utilisation du Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane (DDT). Le recours à ces produits généralement toxiques a pour conséquence directe la mortalité massive des communautés ichthyques.

Tableau 1.4 : Valeurs théoriques de la charge polluante engendrée par le bétail en UCP (kg N an⁻¹)

Espèces	Bénin	Burkina-Faso	Cameroun	Côte d'Ivoire	Guinée	Mali	Niger	Nigeria	Tchad	Total
Bovins	2160028	3124544	33843810	5120900		8365263	54311437	-	1420814	108346796
Ovins	102680	307357	2784971	455112		2009534	12675643	-	6730	45480818
Caprins	95428	460767	3080101			2051753	21076235	-	374507	
Total	2358136	3892668	39708882	5576012	-	12426550	88063315	-	1802051	153827614

D'une manière indirecte les conséquences de cette pratique se répercutent sur l'ensemble de la chaîne alimentaire.

d. Activités minières

Le bassin du Niger regorge d'importantes ressources minières (or, cuivre, fer, charbon uranium, phosphates, calcaire, marbre, étain, diamant). Beaucoup de ces ressources restent encore inexploitées et leur exploitation future aura sans nul doute un impact négatif sur l'environnement.

Actuellement, l'or fait l'objet d'une exploitation artisanale au Burkina-Faso, en Côte d'Ivoire, au Mali, au Niger et au Tchad et industrielle au Burkina-Faso où on dénombre une mine d'or à Assakana et deux autres en perspective et au Mali, troisième producteur d'or en Afrique.

L'exploitation de l'or revêt beaucoup de risques par l'utilisation des substances dangereuses pour la santé humaine et pour l'environnement (le mercure par exemple) et la destruction du milieu (Fig.1.4).



Figure 1.4 : Site d'exploitation artisanale de l'or dans la partie nigérienne (Komabangou) du bassin du Niger

Il existe aussi d'autres industries minières dans le bassin notamment celles du calcaire et du marbre au Cameroun.

1.3.3.3. Impact sur les ressources en eaux

Le sous-chapitre précédent révèle la présence d'importantes menaces qui pèsent sur les potentialités du bassin du Niger en particulier sur les ressources en eaux de surface et souterraines. Malheureusement, les données disponibles ne permettent pas, par le nombre de paramètres analysés et la fréquence des mesures, de se prononcer de manière exhaustive sur la qualité des eaux de l'ensemble du bassin. Il faut donc noter l'absence d'information sur la pollution engendrée par les pesticides, les métaux lourds et les bactéries.

1.3.3.3.1. Eaux de surface

Il existe des données partielles et très irrégulières dans les parties guinéenne, malienne, nigérienne, nigériane et tchadienne du bassin, ce qui ne permet pas de les exploiter avec fiabilité et de se prononcer d'une manière globale sur l'état de qualité de ces ressources. Il ressort de ces données (KOTSCHOUBEY et KONE, 2005) que la qualité des eaux de surface est moyenne en Guinée (Couleur > 50 UCV, turbidité égale à 280 NTU et DCO égale à 60 mg l⁻¹), au Mali (DCO de 80 à 110 mg l⁻¹, NH₄ de 2,46 à 14 mg l⁻¹, couleur de 156 à 180 UCV), au Niger en saison des pluies (couleur 3 060 à 11 300 UCV, MES 493 à 2 120 mg l⁻¹, coliformes totaux 740 à 930/100 ml) et au Nigeria (Conductivité égale à 700 µS cm⁻¹, présence de plomb, cadmium, cuivre et zinc).

Un suivi beaucoup plus régulier basé sur des paramètres encore plus pertinents s'impose pour mieux appréhender la question de la qualité des eaux de surface dans le bassin du Niger.

1.3.3.3.2. Eaux souterraines

Contrairement aux eaux de surface, les données sont beaucoup plus fournies sur la qualité des eaux souterraines mais sur un nombre limité de paramètres. Le degré de pollution est variable en fonction de la profondeur des nappes (nappes profondes et nappes phréatiques) et est globalement acceptable pour l'ensemble du bassin (KOTSCHOUBEY et KONE, 2005 ; ALHOU, 2000). Il faut cependant noter des cas de forte minéralisation au nord du Mali (> 5 000 µS cm⁻¹), au Nigeria (3 000 µS cm⁻¹) et au Tchad (5 030 µS cm⁻¹), des teneurs en certains métaux lourds comme le fer (5,1 mg l⁻¹ au Nigeria ; 4 mg l⁻¹ au Tchad) et les fluorures (4,77 à 6,6 mg l⁻¹ au Niger) et celles en nitrates (119

mg l⁻¹ en moyenne dans la communauté urbaine de Niamey) (ALHOU, 2000) supérieures aux normes OMS de qualité.

Le dépassement des normes en fluorures dans la commune de Tibiri au Niger (4,77 à 6,6 mg l⁻¹ contre 1,5 mg l⁻¹ préconisés par l'organisation mondiale de la santé), ayant échappé aux contrôles des services compétents, est à la base de malformation des enfants (5 000 environs) appelée fluorose osteo-dentaire depuis les années 1984-1985 (ANONYME, 2002). L'absence d'unités industrielles dans cette commune laisse présager que la source de ces fluorures est naturelle.

1.4. DISCUSSION

Nous avons tenté dans ce chapitre de rassembler les données existantes sur l'état de dégradation des ressources dans le bassin du Niger en particulier les ressources en eaux du fleuve Niger qui reçoivent directement ou indirectement les eaux usées produites par les grandes agglomérations. Malheureusement, il y a plus de constats que de recherches proprement dites sur l'altération de la qualité des eaux de ce fleuve : très peu de données quantitatives sont ainsi disponibles. Il ressort de ces données fragmentaires un véritable problème de gestion des déchets solides et liquides (domestiques et industriels) par manque d'infrastructures adéquates. Plusieurs études sur la qualité des eaux usées dans le bassin du Niger ont noté que ces dernières ne répondent pas aux normes préconisées par l'organisation mondiale de la santé (ANONYME, 2001 ; PLEA et *al.*, 2005 ; ODOKUMA et OKPOKWASILI, 1993 ; NWOKEDI et *al.*, 1992). Elles sont pourtant déversées directement dans le fleuve Niger et ses affluents. Les conséquences de ces déversements s'observent dans les villes au Bénin, au Burkina-Faso, en Côte d'Ivoire, au Mali, au Niger et au Nigeria (OLALEYE et AKINYEMIJU, 1996 ; DEMBELE, 1994 ; CHIKWENHERE, 1994) où prolifèrent des plantes envahissantes comme la jacinthe d'eau. Ces dernières perturbent la pêche, la navigation et créent un déficit en nutriments nécessaires pour la production primaire. Mais il n'existe pas encore de suivi régulier de la qualité des eaux du fleuve Niger sur l'ensemble du bassin malgré l'évacuation des rejets sur les rives du fleuve et certains affluents directement utilisés par les riverains (PLEA et *al.*, 2005 ; ODOKUMA et OKPOKWASILI, 1993 ; AJIBADE, 2004 ; UZOUKWU et *al.*, 2004 ; BARIWENI et IZONFUO, 2001 ; AKPAN, 2004). Les risques que présente une telle évacuation des eaux usées justifie l'intérêt de suivre l'évolution de la qualité de ces eaux le long des berges qui sont des zones exposées, sensibles et où le brassage de l'eau est très faible.

La partie nigériane du bassin du Niger représente la zone la plus exposée par la pollution liée au développement industriel (pétrole, gaz) et à l'explosion démographique.

Conclusion

La mauvaise conduite des activités dans le bassin du Niger est l'une des causes principales qui affectent ses ressources notamment les ressources en eaux.

Dans le domaine agricole, il faut souligner le recours à des techniques modernes (utilisation des pesticides et d'engrais souvent non recommandés) et à l'épandage dans les champs des décharges publiques pour améliorer la fertilité des sols. Quant au bétail, il reste en divagation laissant traîner ses déjections et piétinant en plus le sol.

Dans le domaine industriel, les déchets (solides et liquides) produits sont très peu maîtrisés. La législation en matière de production et de gestion de ces déchets est très peu respectée. La gestion de ces déchets est donc une véritable problématique environnementale car rien que les déchets liquides sont déversés dans le fleuve Niger et ses affluents sans traitement préalable.

En matière d'assainissement, la majorité de la population n'a pas accès au réseau d'égout (MAIGA et *al.*, 2002) qui est très faible et souvent non fonctionnel colmaté par des déchets de toute sorte.

L'augmentation de la minéralisation, le dépassement des normes en demande chimique en oxygène et en azote ammoniacal et la présence des coliformes totaux constatés dans les eaux du fleuve Niger en aval des grandes agglomérations est sans nul doute la conséquence directe de tous ces phénomènes.

Pour mieux cerner l'impact réel des rejets urbains sur la qualité des eaux du fleuve Niger, une étude beaucoup plus scientifique avec des données régulières dans le temps et dans l'espace se justifie surtout dans les zones assez utilisées par les riverains et qui reçoivent les rejets des grandes villes.

Dans cette perspective, il convient de cerner le mécanisme général de dégradation des ressources naturelles dans le bassin du Niger à travers un suivi régulier à l'échelle du bassin de l'ensemble des phénomènes qui le menacent, d'évaluer quantitativement et qualitativement l'ampleur de l'impact de ces phénomènes sur les ressources naturelles et de mettre en place un dispositif permanent de suivi, de contrôle et de gestion des risques.

La suite de ce travail sera consacrée à une étude de cas sur l'impact des rejets de la ville de Niamey sur la qualité des eaux du fleuve Niger en ciblant essentiellement les berges. Une telle étude commence d'abord par faire l'inventaire des sources de pollution.

Références bibliographiques

AJIBADE L. T., 2004. Assessment of water quality along river Asa, Ilorin, Nigeria. *The Environmentalist*, 24: 11-18.

AKPAN A. W., 2004. The water quality of some tropical freshwater bodies in Uyo (Nigeria) receiving municipal effluents, slaughter-house washings and agricultural land drainage. *The Environmentalist*, 24: 49-55.

ALHOU B., 2000. Approche géochimique de la pollution des eaux souterraines du continental terminal de la ville de Niamey. Mémoire de DESS, CRESA, Univ. Niamey, 53 p.

ANONYME , 2002. Droit à l'eau potable : enfants de Tibiri, quand l'eau se transforme en poison. Privatisation de la distribution de l'eau : un processus à surveiller. Rapport , mission internationale d'enquête n° 341, octobre 2002. Fédération internationale des ligues des droits de l'homme (fidh), 41 p. (sans annexe).

ANONYME, 1995. Document de base pour le projet intégré eau assainissement de base éducation à l'hygiène. MH/E.ME/T.MDS/P/PF.OMS. Plan d'action Afrique 2000, 39 p.

ANONYME, 1996. Le fleuve Niger supérieur : reconnaissance environnementale. IWACO B. V. et Delft Hydraulics, Pays-Bas, 32 p.

ANONYME, 1999. Schéma directeur de mise en valeur et de gestion des ressources en eaux au Niger. Le référentiel du secteur de l'eau et de l'assainissement au Niger. Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement, Niamey, 154 p.

ANONYME, 2000. Contrôle des plantes aquatiques et flottantes dans le bassin du fleuve Niger : TCP/RAF/0071 (T). Bénin, Mali, Niger et Nigéria. Secrétariat exécutif de l'Autorité du Bassin du Niger, Niamey, 11 p.

ANONYME, 2001. Etude sur l'amélioration de l'assainissement de la ville de Niamey en République du Niger. Rapport final provisoire. Vol.II : Rapport principal. Tokyo Engineering Consultants CO., LTD and Yachiyo Engineering CO., LTD., 497 p.

ANONYME, 2002. Activités de contrôle des plantes aquatiques envahissantes dans le bassin du fleuve Niger. Direction Nationale de l'Hydraulique, Bamako, 12 p.

ANONYME, 2003. Inversion des tendances à la dégradation des ressources en eaux et en terre dans le bassin du fleuve Niger. Projet FEM RAF/99/G41, Niamey, 93 p.

ANONYME, 2003. L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie. Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau. Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau. Edit. UNESCO-WWAP, 36 p.

ANONYME, 2004. Eaux usées : normes de rejets des déchets liquides. Avant projet de norme nigérienne. Ministère du commerce, de l'industrie, de l'artisanat et de la promotion du secteur privée, 5 p.

ANONYME, 2004. Etude multisectorielle de la portion nationale du bassin du Niger au Burkina-Faso. Autorité du Bassin du Niger (ABN) et Agence Canadienne pour le Développement International (ACDI), 146 p.

ANONYME, 2004. Etude multisectorielle pour le développement durable dans la portion béninoise du bassin du fleuve Niger : analyse des opportunités et contraintes. Autorité du Bassin du Niger (ABN) et Agence Canadienne pour le Développement International (ACDI), 169 p.

ANONYME, 2004. Evaluation des opportunités et contraintes au développement dans la portion nationale du bassin du fleuve Niger. Etude multisectorielle nationale (Cameroun). Autorité du Bassin du Niger (ABN) et Agence Canadienne pour le Développement International (ACDI), 273 p.

ATTIKOU A., 2002. La jacinthe d'eau : un doux fléau ? *Les échos du sahel*, 10 : 50-51.

BARIWENI A. P. and IZONFUO L. W. A., 2001. The effect of urban runoff water and human activities on some physico-chemical parameters of the Epie Creek in the Niger Delta. *Journal of Applied Science and Environmental Management*, 5: 47-55.

CALAMARI D., 1985. Situation de la pollution dans les eaux intérieures de l'Afrique de l'ouest et du centre. *Document. Occasionnel*, Comité des Pêche Continentales pour l'Afrique/FAO, 12, 28 p.

CHIKWENHERE G. P., 1994. Biological control of water hyacinth *Eichornia crassipes* in Zimbabwe, result of a pilot study. *FAO Bulletin Phytosanitaire*, 424: 185-190.

DEMBELE B., 1994. La jacinthe d'eau, un nouveau fléau pour les cours d'eau du Mali. *Sahel Protection végétale information*, Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS/UCTR/PV), 63 : 12-14.

DEMBELE B., 2002. Situation des plantes aquatiques nuisibles dans les pays de la CEDEAO et de l'ABN. Atelier de Niamey du 9 au 12 septembre 2002, 18 p.

DESSOUASSI Y. R., 2002. Le climat en 2002 : conséquences du climat 2002 sur l'hydrologie (cas du bassin du Niger). Autorité du Bassin du Niger : CIP-HYDRONIGER-CRP/AOC-HYCOS, 7 P.

DIALLO E. M. A. et DIALLO T., 2004. Evaluation des opportunités et contraintes au développement dans la portion nationale du bassin du fleuve Niger. Etude multisectorielle nationale (Guinée). Autorité du Bassin du Niger (ABN) et Agence Canadienne pour le Développement International (ACDI), 330 p.

DIARRA A. T. et CISSE Y., 2004. Evaluation des opportunités et contraintes au développement dans la portion nationale du bassin du fleuve Niger. Etude multisectorielle nationale (Mali). Autorité du Bassin du Niger (ABN) et Agence Canadienne pour le Développement International (ACDI), 167 p.

GLOYNA, E.F., 1972. Bassin de stabilisation des eaux usées. *OMS Série Monographique.*, 60, 187 p.

GNAGNE T. et CISSE Z. M., 2004. Etude multisectorielle pour le développement durable dans la portion ivoirienne du bassin du fleuve Niger : analyse des opportunités et contraintes. Autorité du Bassin du Niger (ABN) et Agence Canadienne pour le Développement International (ACDI), 171 p.

GREIGER T J., 1957. Introduction à la connaissance de l'hydrogéologie du bassin occidentale du Niger. Deuxième partie : Structure des dépôts crétacés et tertiaires du bassin occidental du territoire du Niger, 49 p.

GROSS P., 1999. Qualité de l'eau souterraine de la communauté urbaine de Niamey. Compte rendu des travaux réalisés à Niamey d'août 1998 à février 1999. ORSTOM, Niamey, 21 p.

GUEALBAYE M. et WALBADET A. A., 2004. Etude multisectorielle pour le développement de la portion tchadienne du bassin du Niger. Autorité du Bassin du Niger (ABN) et Agence Canadienne pour le Développement International (ACDI), 134 p.

GUERO A. et GARBA D. M., 1996. Contrôle et suivi de la qualité des eaux souterraines dans la communauté urbaine de Niamey. Ministère de Développement Rural, de l'Hydraulique et de l'Environnement. Direction des ressources en eaux, Niamey, 10 p.

GUERQUIN F., AHMED T., IKEDA T., OZBILEN V. et SCHUTTELAAR M., 2003. Les actions pour l'eau dans le monde. Faire jaillir l'eau pour tous. World Water Council, Japan Water Resources Association, United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organisation, 31 p.

ITEA, 2004. Schéma directeur d'aménagement du sous bassin de Dargol. Projet Initiative Terre et Eau en Afrique. Ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et de la Lutte Contre la Désertification, Niger, 66 p.

JICA, 2001. Gérer l'abondance dans le Sahel par la lutte contre la désertification. Documentation technique de la JGRC, 52 p.

JOSEPH A. et GIRARD P., 1990. Etude de la pollution en nitrates des aquifères de socle : exemple de la nappe de Niamey. Univ. Niamey, 32 p.

KOTSCHOUBEY N. et KONE A., 2005. Evaluation pour le suivi de la qualité de l'eau dans le bassin du Niger. Rapport final. Autorité du bassin du Niger/UNOPS/Banque Mondiale, 169 p.

KRISTENSEN P., 1994. Atelier sur les zones humides du Niger. Tapoa du 2 au 5 novembre 1994, Union Mondiale pour la Nature (UICN), 81 p.

LABBO R., ERNOULD J.-C., DJIBRILLA A., SIDIKI A. et CHIPPAUX J.-P., 2003. Transmission de *Schistosoma haematobium* dans la ville de Niamey, Niger. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, 96, 3 : 178-182

LÉVÊQUE C. et PAUGY D., 1999. Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie et utilisation par l'homme ; IRD, Paris, 521 p.

MAIGA A. H., WETHE J., SEIDL M., MOUCHEL J. M. et DEMBELE A., 2002. Valorisation des sous produits de l'épuration par lagunage en Afrique de l'ouest et du centre : Analyse comparative des pratiques dans six pays au sud du Sahara, 10 p.

MOULAY D.E.J., 2005. Croissance urbaine et problèmes d'assainissement liquide et pluvial dans le bassin du Srou (Maroc central). *Sécheresse*, 16: 41-52

NWOKEDI G. I. C., OBODO G. A. and NWANKWO S. I., 1992. Pollution chemistry of the river Niger and its tributaries: characteristics of industrial waste effluents. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 48: 441-448.

OCAR, 2003. Rapport d'évaluation du programme de lutte contre l'ensablement dans le bassin du fleuve Niger. Autorités du Bassin du Niger (ABN), 68 p.

ODOKUMA L. O. Et OKPOKWASILI G. C., 1993. Seasonal influences on inorganic anion monitoring of the New Calabar river, Nigeria. *Environmental Management* 17: 491-496.

OLALEYE V. F. et AKINYEMIJU O. A., 1996. Effect of glyphosate N-Phosphonomenthyl glycine application to control *Eichornia crassipes* Mart. On fish composition and abundance in Abiala Creek, Niger Delta, Nigeria. *Journal of Environmental Management*, 47: 115-122.

PLEA M., Cissé A.S., KÉÏTA K. et DOUMBIA A., 2005. Qualité des eaux du fleuve Niger à Bamako: impacts des activités domestiques. Conférence débat sur la problématique de l'eau au Mali. Univ. Bamako, présentation orale.

SATO H., SAKAMOTO S., HAYASHI N., SUZUKI I., INOUE K. and MURAKAMI M., 2002. Eco-engineering applications in reclamation of treated wastewater and constructed wetland. *Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management, Tunis (EPCOWM'2002)*: 823-830

SEDJRO K., AZONHIHIN C. et KOUKPODE B., 2001. Synthèse points d'exécution du programme de lutte biologique contre la jacinthe d'eau dans le bassin du fleuve Niger : TCP/RAF/0071 (T). FAO, 7 p.

TUSSEAU-VUILLEMIN M-H., GARNIER J., SERVAIS P. et LAROCHE L., 2001. Charges domestiques spécifiques et rejets de station d'épuration, 18 p.

UZOUKWU B. A., NGOKA C. and NNEJI N, 2004. Monitoring of seasonal variation in the water quality of Ubu river in Ekwusigo and Nnewi local government areas of Anambra State, Nigeria. *Environmental Management*, 33: 886-898.

YAHAYA A., 2000. La vallée du fleuve Niger en territoire nigérien : un espace agricole à protéger. *Sécheresse*, 11: 133-140

Chapitre 2 : Inventaire des sources de pollution des eaux du fleuve Niger à Niamey

Niamey, comme la plupart des grandes villes africaines, connaît de sérieux problèmes d'assainissement liés à des infrastructures défectueuses, des pratiques et comportements d'hygiène inappropriés et un faible accès aux services de base (ANONYME, 2001 ; MAIGA *et al.*, 2002). Les infrastructures de base ne répondent pas ainsi au rythme de croissance de ces villes (5% à 7 % à Ouagadougou et Yaoundé ; 4,3 % à Niamey ; 3,3 % à Kumasi), ce qui explique le faible taux de raccordement au réseau d'égout (moins de 30 % à Abidjan ; 5 % à Kumasi ; 2 % à Yaoundé et Douala ; 0,5 % à Niamey). Cette situation explique en plus l'insalubrité croissante de ces villes avec toutes les nuisances que cela comporte. Il faut ajouter à cela les déchets provenant des unités industrielles.

A Niamey, l'ensemble des rejets liquides produits ainsi que les eaux pluviales sont évacués vers le fleuve Niger à travers un système commun de drainage. Pour cerner l'impact de ces déversements sur le milieu récepteur, il s'avère indispensable de procéder d'abord à un inventaire le plus exhaustif possible des sources de pollution de la ville de Niamey.

2.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est focalisée sur la ville de Niamey, capitale du Niger (Fig. 2.1), située en Afrique de l'ouest. Elle se trouve à l'ouest du Niger à 13°31' de latitude Nord et 2°26' de longitude Est. Elle se situe à une altitude de 218 m.

Sa superficie est de 670 km². Le recensement général de la population et de l'habitat de 2001 estime sa population à 707 951 habitants tandis qu'en 1988 elle était de 397 437 habitants. La densité est de 1 057 habitants au km². Le taux d'accroissement annuel de la population est de 4,8 %.

2.1.1. Climatologie

Niamey appartient à un climat sahélien (DESCONNETS, 1994) caractéristique des régions semi-arides avec une alternance dans l'année d'une saison des pluies (juin, juillet, août) et d'une saison sèche (septembre à mai). La climatologie de la zone est caractérisée par les paramètres météorologiques suivant : pluie, température, humidité relative, vent et évapotranspiration.

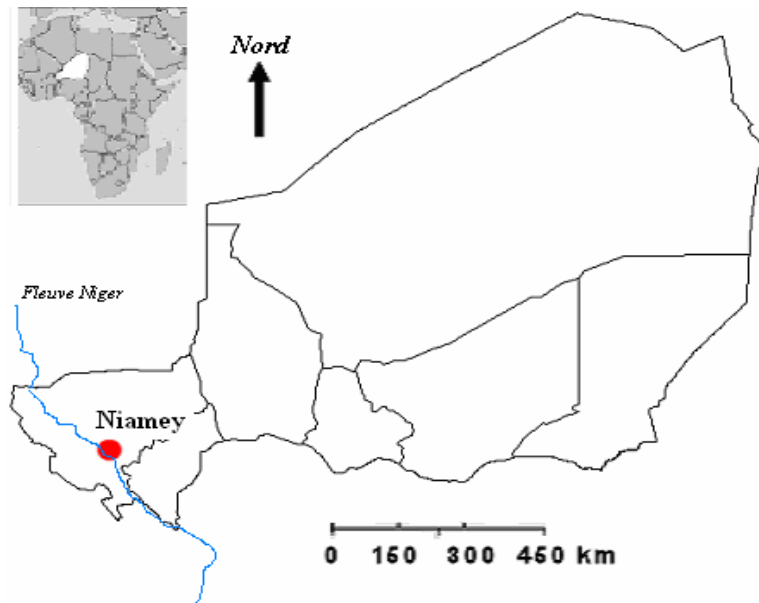


Figure 2.1 : Localisation de la zone d'étude à l'Ouest du Niger

2.1.1.1. Pluviométrie

La pluviométrie est déterminée par la remontée du sud vers le nord du front intertropical (FIT) qui marque la limite entre la masse d'air sec saharien ou l'harmattan et la masse d'air humide ou mousson.

Elle est variable suivant les années. La moyenne annuelle de 1995 à 2005 est de 518 mm avec un minimum de 386 mm en 2002 et un maximum exceptionnel de 817 mm en 1998. L'écartype est de 123 mm. Elle présente un histogramme unimodal. Le mois le plus pluvieux de l'année est le mois d'août avec 173 mm en moyenne (Fig. 2.2). De faibles pluviométries sont enregistrées en avril (10 mm) et en octobre (13 mm).

2.1.1.2. Température

La température moyenne annuelle de 1995 à 2004 est de 30°C. Les températures les plus élevées sont enregistrées aux mois d'avril et de mai avec 35°C. Les mois de décembre (26°C) et janvier (25°C) sont les plus frais (Fig. 2.2). L'écartype est de 3°C.

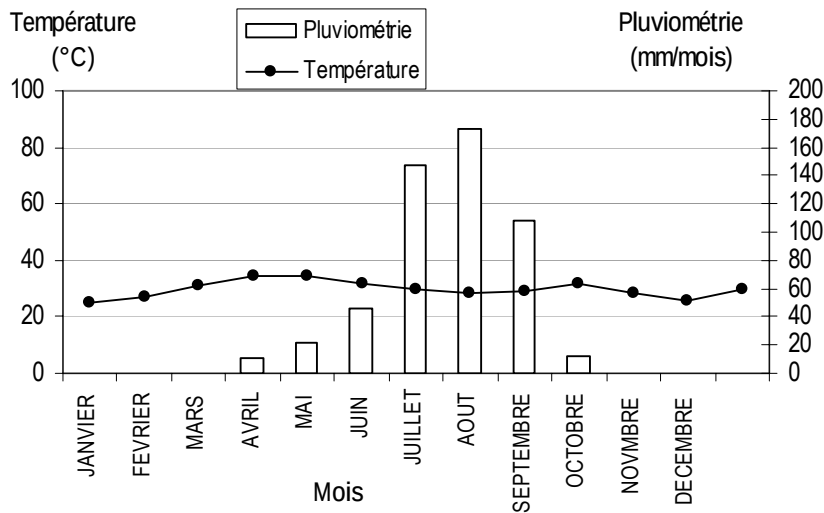


Figure 2.2 : Diagramme ombrothermique de la ville de Niamey de 1995 à 2005

2.1.1.3. Humidité relative de l'air

Elle a une variation saisonnière. Elle dépend de l'alternance des masses d'air sec et humide. La période humide de l'année va de juillet à septembre avec un taux supérieur à 60 %.

2.1.1.4. Evapotranspiration (ETP)

L'ETP a été calculée selon la formule complexe de Penman par la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). La moyenne annuelle de 1995 à 2004 est de 2 800 mm. Elle est plus élevée en mai (mois chauds et secs) avec 286 mm et plus faible en novembre avec 197 mm (Fig. 2.3). L'écartype est de 28 mm.

Le rapport de la pluviosité moyenne annuelle sur l'évapotranspiration moyenne annuelle est égal à 0,18 donc caractéristique d'un climat aride.

L'indice d'aridité (DAJOZ, 1996) de DE MARTONNE ($i = P / (T + 10)$) pour la ville de Niamey est de 13 ; avec P, pluviosité moyenne annuelle (en mm) et T, température moyenne annuelle (en °C).

2.1.1.5. Vitesse du vent

La vitesse moyenne annuelle du vent est de 4 m s^{-1} . Les vents les plus forts surviennent en février, mai, juin et juillet avec 4 m s^{-1} et les plus

faibles en octobre et novembre avec 3 m s^{-1} (Fig.2.4). L'écartype est de $0,5 \text{ m s}^{-1}$.

ETP (mm/mois)

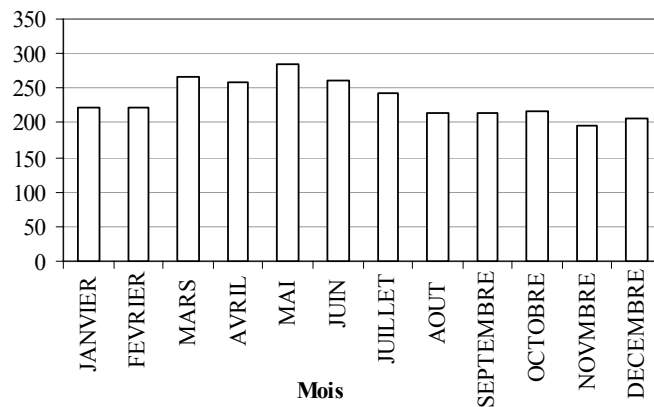


Figure 2.3 : Evapotranspiration (1995 à 2004) mensuelle enregistrées à Niamey aéroport (ETP = évapotranspiration)

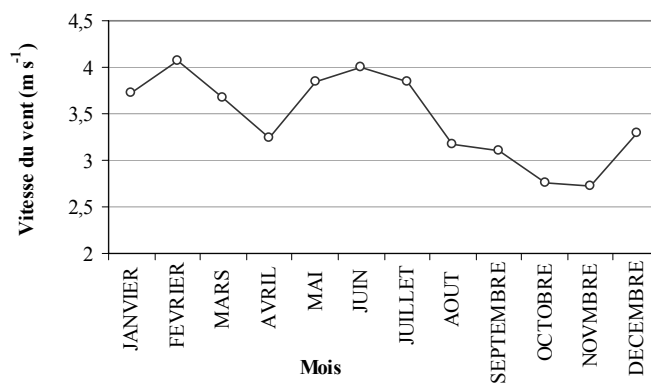


Figure 2.4 : Vitesses du vent relevées à Niamey aéroport de 1995 à 2004.

2.1.2. Ressources en eaux

Elles comprennent les eaux superficielles et les eaux souterraines.

2.1.2.1. Eaux superficielles

Le réseau hydrographique de la ville de Niamey est principalement marqué par le fleuve Niger et ses affluents. Certains de ces affluents sont actifs pendant la saison des pluies (Goroual, Dargol, Sirba, Goroubi, Diamangou, Tapoa, Mékrou) tandis que d'autres sont en voie de fossilisation (Dallols Bosso et Maouri) suite à l'installation de sables dunaires et d'ergs au Pléistocène (DESCONNETS, 1994). Il faut également signaler la présence d'importants koris (Ouallam et Gountiyéna) appartenant à l'ancien réseau hydrographique régional partiellement dégradé. Ils drainent des superficies de plusieurs centaines à quelques milliers de km².

La dégradation du réseau peut être liée à l'ensablement localisé et/ou généralisé des principaux collecteurs réduits en chapelet de mares en saison des pluies (DESCONNETS, 1994).

Lors de pluies exceptionnelles, le débordement de ces mares au delà des seuils sableux réunifie le collecteur.

Le fleuve Niger est le seul cours d'eau permanent qui traverse le Niger du nord-ouest en provenance du Mali au sud-est vers le Nigeria. Son débit moyen annuel de 1980 à 2005 est de 697 m³ s⁻¹.

L'analyse des débits à la même période montre une tendance à l'augmentation des débits du fleuve à Niamey (Fig.2.5) avec des variations annuelles très importantes. La crue est observée de novembre à janvier avec un maximum de 1 434 m³ s⁻¹ en décembre (Fig.2.6) et l'étiage de mars à juillet avec un minimum de 45 m³ s⁻¹ en mai. Il y a donc un décalage entre la crue (qui est essentiellement due aux apports d'eau provenant de la source) et la saison des pluies à Niamey.

Bien qu'il soit sujet aux aléas climatiques, le fleuve Niger représente la principale ressource en eau à partir de laquelle le réseau d'adduction d'eau potable est alimenté. Il représente également la principale ressource en eau pour l'irrigation des rizières situées le long de son parcours.

Outre le fleuve Niger et ses affluents, le réseau hydrographique compte en saison des pluies des mares temporaires, semi-permanentes ou permanentes installées dans des bassins endoréiques. Dans la ville de Niamey pour éviter la stagnation de l'eau, les activités de l'urbanisme ont transformé ces mares en dépotoirs réceptionnant ainsi

les décharges publiques malgré les conséquences prévisibles sur les eaux souterraines.

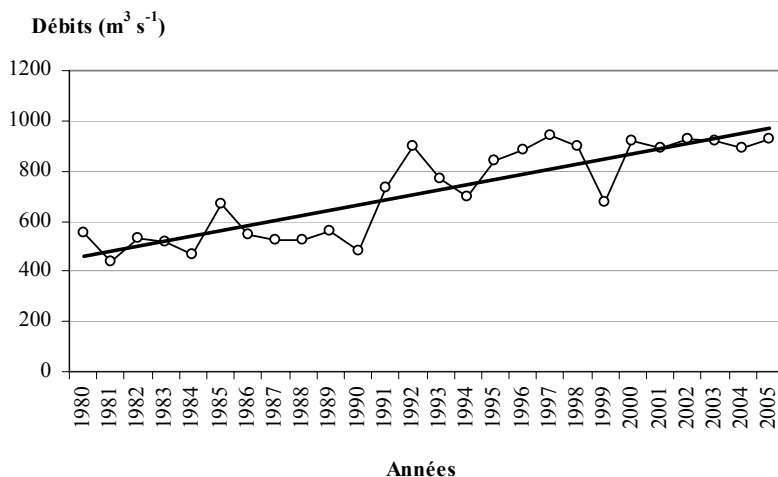


Figure 2.5 : Variations annuelles des débits moyens du fleuve Niger à Niamey de 1980 à 2005

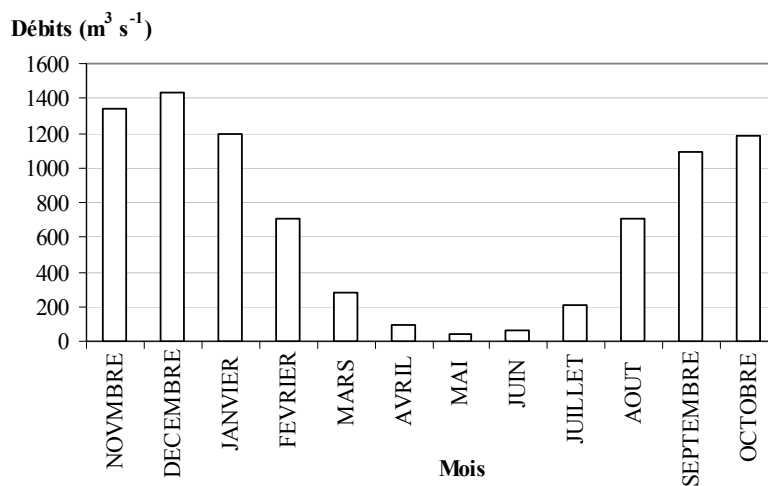


Figure 2.6 : Variations mensuelles des débits moyens du fleuve Niger à Niamey de 1980 à 2005

2.1.2.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont contenues dans des réservoirs appartenant à deux types de formations : le socle cristallin du Liptako et les couches sédimentaires.

a. Aquifères discontinus du socle

Les eaux sont logées uniquement dans la frange fissurée et altérée du socle et parfois dans les failles ouvertes plurikilométriques (BERNERT et *al.*, 1985). Cette porosité de fracture leur confère un écoulement discontinu de l'eau contrairement aux formations sédimentaires à porosités interstitielles. Les produits d'altération du socle (les altérites) sont pour la plupart logées dans les vallées entaillées par le réseau hydrographique ; elles constituent de petits réservoirs épais parfois de 30 à 40 m.

Le socle est constitué de formations birrimiennes composées principalement de schistes argileux, d'amphibolites, d'andésite, de gabbros, de granite, et de formations infra-cambriennes constituées essentiellement de schistes argileux.

b. Aquifères à porosité interstitielle

Ces aquifères sont formés des alluvions quaternaires des vallées et des grès tertiaires du continental terminal (CT). Celui-ci est composé de trois aquifères (CT₁, CT₂, et CT₃) superposés, intercalés entre eux par des formations argileuses très peu perméables. Ils se répartissent du bas vers le haut par :

- la série sidérolitique (CT₁) composée d'alternance d'argiles ferrugineuses avec oolithes ferrugineuses, des limons sombres avec des restes des végétaux, de sables quartzeux, de grès ferrugineux à oolithes et pisolithes. Le CT₁ est à nappe captive et artésienne. Il alimente par drainage les aquifères sus-jacents ;
- la série argilo-sableuse (CT₂) à lignite caractérisée par des alternances de sables, d'argiles et de limons ; il est à nappe captive. Les forages qui la captivent ne sont pas jaillissants. Cette nappe reçoit à la fois par drainage les eaux du CT₁ et celles du CT₃ (DODO, 1992) ;
- la série de grès argileux (CT₃) composée par une alternance de grès argileux friables et d'argile sableuse très variable latéralement. C'est un aquifère à nappe libre. Le CT₃ représente la ressource en eau captée par les puits et forages de la ville de Niamey. La profondeur du

niveau piézométrique mesurée dans les puits et forages varie entre 20 et 60 m (LEDUC *et al.*, 1996). Dans certains puits équipés de limnigraphes depuis 1987, la recharge annuelle est en moyenne de 20 cm an⁻¹ avec des extrêmes de 5 cm an⁻¹ (1990) et 45 cm an⁻¹ (1992).

Les principales directions d'écoulements souterrains sont nord-est/sud-ouest et nord-ouest/sud-est (DODO, 1992). Ces écoulements convergent vers un axe de direction nord-sud puis vers l'exutoire principal de tous les aquifères du CT, le fleuve Niger dans la zone de confluence des Dallols Bosso et Maouri.

La réserve totale, pour la ville de Niamey et son environ (sur un rayon de 100 km environ), est de l'ordre de 5 milliards de m³ pour une porosité efficace moyenne de 5 % et une épaisseur moyenne de 5 m.

Les eaux du continental terminal offrent par elles-mêmes des garanties de potabilité certaines et sont favorables à l'irrigation (TIRAT, 1964). Elles ont, en effet, des conductivités électriques faibles qui dépassent rarement 150 µS cm⁻¹. Mais la présence et l'abondance des nitrates dans certaines d'entre elles sont un indicateur d'une mauvaise protection des puits et d'une contamination préjudiciable aux utilisateurs. Les nitrates constituent l'essentiel des anions quand la minéralisation est élevée tandis que les bicarbonates sont plus significatifs quand la minéralisation est faible (LEDUC et TAUPIN, 1993).

2.2. Typologie des sources de pollution

La typologie des différentes sources de pollution de la ville de Niamey est basée sur les informations déjà existantes, notamment l'étude sur les établissements dangereux, incommodes et insalubres (ANONYME, 2000) et l'étude sur l'amélioration de l'assainissement de la ville de Niamey (ANONYME, 2001), plus des investigations personnelles menées sur le terrain. Cela a permis d'établir une liste des sources de pollution potentielles qui déversent directement leurs effluents dans le fleuve Niger et de localiser exactement les points de rejets dans ce cours d'eau. Cette typologie donne quatre grands groupes : les sources domestiques, les sources industrielles, les sources hospitalières et les sources agricoles.

2.2.1. Sources agricoles

Les sources agricoles sont constituées essentiellement de l'aménagement hydro-agricole de Saga et des champs de culture dans lesquels est répandue une grande partie des déchets solides enlevés de

la ville. Le système de drainage des eaux vers le fleuve de l'aménagement hydro-agricole de Saga n'est pratiquement pas fonctionnel en saison sèche. Le drainage est exclusivement effectué en cas d'inondation en saison des pluies.

2.2.2. Sources industrielles

Elles sont composées des industries agro-alimentaires (abattoir, tannerie, laiterie, brasserie), textile (ENITEX) et chimiques (savonnerie, produits pharmaceutiques).

L'abattoir, l'Office du Lait du Niger (OLANI) et l'Entreprise Nigérienne de Textile (ENITEX) disposent chacun de leur propre canal de drainage. La tannerie est implantée en bordure du fleuve et la vidange des fosses se fait par des services spécialisés vers des sites de décharge, tandis que la Brasserie du Niger (BRANIGER), la savonnerie (UNILEVER) et l'Office National des Produits Pharmaceutiques et Chimique (ONPPC) rejettent leurs effluents dans un même caniveau.

Le volume total des rejets industriels est estimé à 2 500 m³ par jour (ANONYME, 2001).

2.2.2.1. Abattoir (ABA)

Crée en 1967, l'abattoir frigorifique de Niamey a pour activité principale la production de viande. Celle-ci est de 25 tonnes par jour. Une grande partie des déchets (sang, os) qu'il produit sont valorisés dans l'alimentation de la volaille par une usine qui les transforme en farine utilisée comme complémentation. Le sang généré et enlevé s'élève à 1 750 litres par jour et les déchets solides composés des os et du contenu des panses sont estimés à 9 900 kg par jour. Le contenu des panses est estimé sur la base de 7 kg par gros ruminant et 0,7 kg par petit ruminant. Il est utilisé comme fumier dans les champs de culture.

Faute de station de traitement des eaux usées (220 m³ par jour) et d'un mode de gestion approprié des déchets solides, l'abattoir frigorifique de Niamey compte parmi les grands pollueurs des eaux du fleuve Niger qu'il jouxte.

La perspective d'installation d'une station de traitement depuis 1980 est encore sans suite. Néanmoins, la construction d'un abattoir moderne couplé à une tannerie est en projet.

En général, les rejets des abattoirs sont considérés comme des sources potentielles de dégradation de l'environnement à cause de leurs matières organiques élevées et des microorganismes pathogènes.

L'étude effectuée en 1999 sur les Etablissements Dangereux, Incommodes et Insalubres (EDII) a révélé une présence microbienne importante dans les rejets de l'abattoir (ANONYME, 2000), à savoir : *Escherichia coli* (24 000/100 ml), *Coliformes* (41 000/100 ml) et *Streptocoques fécaux* (> 3 000 000/100 ml).

2.2.2.2. BRANIGER (BRA)

La BRANIGER ou Brasserie du Niger est une industrie agro-alimentaire qui s'occupe de la production de boissons gazeuses. Elle produit en moyenne 12 000 000 litres par an. La production de ces boissons génère à la fois des déchets solides et liquides. Les déchets solides sont valorisés en élevage (résidus issus de l'utilisation du malte et du maïs) et en agriculture (boue extraite de la station d'épuration). Les rejets liquides proviennent du nettoyage des salles de brassage, des cuves de fermentation, de garde et des bouteilles. Ils sont chargés de matières en suspension, de matières azotées éliminées au Whirlpool après le brassage, de restes de levure provenant des fonds des tanks et de restes de bière. Le débit journalier de ces rejets est de $519 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$. Ces eaux usées subissent un traitement en deux étapes avant leur évacuation au fleuve ; il s'agit : d'une aération intense visant à réduire la Demande Biologique en Oxygène (DBO_5) et d'une décantation aboutissant à la séparation des matières en suspension (MES) permettant ainsi l'évacuation du surnageant clair.

Le contrôle de la qualité des eaux usées, effectué par la brasserie, se fait toutes les matinées à l'entrée du bac et à la sortie après traitement. Le paramètre suivi est le pH. Par contre, les contrôles extérieurs effectués hebdomadairement par le Laboratoire National de la Santé Publique et d'Expertise (LANSPEX) mesurent les paramètres tels que pH, DBO_5 , MES et matières minérales. Les normes de qualité utilisées sont celles de la législation française conformément à l'arrêté N° 014/MMH/MDR/MT/MTP/MAECI du 11 novembre 1976.

Une étude sur les Etablissements Dangereux, Incommodes et Insalubres (EDII), conduite par CEH-Sidi en 1999, a signalé la présence dans ces rejets de *Streptocoques fécaux* (6 600/100 ml), ce qui est susceptible de provoquer une contamination micro-biologique du milieu récepteur (ANONYME, 2000).

2.2.2.3. ENITEX (ENI)

L'ENITEX est l'Entreprise Nigérienne de Textile. Elle a une production annuelle de tissus de 6 millions de mètres.

Elle génère d'importants rejets liquides renfermant des résidus de soude caustique, d'acide nitrique, de colorants et des déchets solides composés de cartons et fûts d'emballage. Les rejets liquides s'évaluent à 1 350 m³ par jour et se déversent dans le fleuve Niger après avoir transité via une station d'épuration.

La station d'épuration dont dispose cette entreprise comporte un bassin d'aération et un autre de décantation. Malheureusement, elle est souvent non fonctionnelle.

2.2.2.4. OLANI (OLA)

L'OLANI ou Office du Lait du Niger est une société agro-alimentaire qui fournit à la population de Niamey le lait et ses sous produits (crème, beurre, yaourt). Sa production moyenne annuelle est de 4 258 000 litres. Elle dispose d'une station d'épuration des rejets liquides (20 m³ par jour) issus du nettoyage de l'usine. Ce processus de traitement comporte le dégraissage du liquide brut puis l'aération et la décantation et ensuite le contrôle du pH. Quand ce dernier est acide, l'eau est recyclée puis retraitée. En cas de trop plein, on procède à un relevage pour éviter l'écoulement de l'eau brute (non traitée) vers le fleuve.

L'eau et la boue récupérées sont utilisées pour irriguer une bourgouttière (*Echinochloa stagnina* RETZ.) qui sert à l'alimentation du bétail appartenant à l'Office du Lait du Niger (OLANI). Malheureusement, cette station connaît souvent des dysfonctionnements, ce qui a pour conséquence le rejet du trop plein de l'eau brute dans le fleuve.

Les quelques déchets plastiques générés sont incinérés sur place.

2.2.2.5. ONPPC

L'Office National de Produits Pharmaceutiques et Chimiques s'occupe de la production de produits pharmaceutiques dont la quantité annuelle est de 300 millions de comprimés.

Cet établissement génère des déchets solides (carton, plastique, flacons) et liquides (60 m³ par jour). Les déchets solides sont incinérés tandis que les rejets liquides sont déversés dans le fleuve Niger sans

traitement préalable. L'établissement ne dispose pas de station de traitement.

Les rejets liquides se retrouvent dans le même canal que ceux de la BRANIGER et de l'UNILEVER (51 m³ par jour environ) avec lesquels ils se mélangent pour se déverser dans le fleuve.

2.2.2.6. Tannerie (TAN)

Elle s'occupe du traitement de peaux et cuirs. Cette tannerie fonctionne de manière artisanale. Les principaux intrants utilisés sont la chaux éteinte, le natron (carbonate de sodium hydraté) et des gousses d'*Acacia nilotica* (L.) WILLD. Son voisinage du fleuve permet le rinçage direct des peaux dans ce cours d'eau. Les rejets liquides issus du traitement des peaux sont vidés des fosses vers un bassin dans lequel ils séjournent avant la vidange par les camions de la communauté urbaine de Niamey ou privés vers des sites de décharge identifiés. Les eaux usées générées par jour sont de 5 m³ par jour.

2.2.3. Sources hospitalières

Elles sont principalement constituées de deux hôpitaux, l'un en rive gauche et l'autre en rive droite. Ils sont équipés de stations d'épuration.

A ces deux hôpitaux s'ajoutent d'autres formations sanitaires qui rejettent directement leurs effluents dans le réseau d'eaux usées de la ville.

Les effluents hospitaliers ont des caractéristiques proches des eaux usées domestiques avec une biodégradabilité légèrement plus faible et la toxicité sensiblement plus élevée (PELLETIER, 2002). Outre les Matières En Suspension (MES), la matière organique, les composés azotés et phosphorés et les germes pathogènes, ces effluents contiennent des rejets médicamenteux en faible quantité qui ne présentent pas de problèmes de santé publique et environnementaux majeurs et des métaux lourds comme le mercure (Hg) et l'argent (Ag).

2.2.3.1. Hôpital National de Niamey (HNN)

L'Hôpital National de Niamey est un établissement public à caractère administratif. Ce centre d'accueil des malades produit des déchets liquides et solides.

Les déchets solides sont collectés dans trois types de poubelles : les poubelles rouges pour tous les piquants, les poubelles vertes placées à proximité des lits des malades et les poubelles bleues utilisées par les

manœuvres. Certains de ces déchets sont incinérés sur place avant leur évacuation sur les décharges publiques tandis que d'autres sont directement mis en décharge. Ce type d'enlèvement de déchets a des risques prévisibles sur la population qui fréquente le milieu récepteur (tétanos, hépatite). L'enlèvement des déchets solides se fait deux fois par semaine ; un équivalent de 3 m³ par jour est produit.

Avant leur évacuation vers le fleuve, les rejets liquides subissent un traitement à travers un réseau d'assainissement qui comporte une station à boue activée. Cette dernière est dotée d'un bassin de traitement primaire et d'un bassin de traitement secondaire. Le traitement à travers ces deux bassins est parachevé par une chloration (2 conteneurs de 500 litres sont prévus à cet effet). Le traitement effectué est purement biologique (élimination des germes pathogènes), ce qui laisse présager la présence, dans l'eau usée déversée dans le fleuve, d'éléments biomédicaux indésirables. La station est malheureusement mal gérée par manque de personnel qualifié.

L'étude sur les Etablissements Dangereux, Incommodes et Insalubres (EDII) indique la présence dans cette eau usée de *Escherichia coli* (900/100 ml) et de *Coliformes* (9 000/100 ml) (ANONYME, 2000).

2.2.3.2. Hôpital National de Lamordé (HNL)

Crée en 1984, le centre hospitalier universitaire a été transformé en établissement public à caractère administratif en 1992. Il a une capacité d'accueil de 162 lits. Le système de traitement des déchets est semblable à celui de l'hôpital national de Niamey.

Après incinération des déchets solides à risques prévisibles, les conteneurs sont enlevés deux fois par semaine et mis en décharge contrôlée.

Quant aux rejets liquides (24 m³ j⁻¹), ils subissent d'abord un traitement biologique ou aération en boue activée puis une décantation avant l'ajout d'hypochlorite de sodium.

2.2.4. Sources domestiques

Il faut noter que Niamey compte 707 951 habitants (RGP/H, 2001) et le système d'évacuation des eaux usées se fait par des caniveaux conçus essentiellement pour l'évacuation des eaux pluviales, à l'air libre et par des services de vidange. Il n'existe pas de raccordement direct des habitations à ces caniveaux ni un traitement des eaux usées produites. Seulement 0,5 % de la population a accès à ce réseau d'égout (MAIGA et al., 2002). Les eaux usées générées par la

population renferment de la Matière En Suspension (MES), du phosphore, de l'azote et de la Matière Organique Biodégradable (MOB).

La matière organique biodégradable, dont la dégradation implique une consommation de l'oxygène dissous dans l'eau, présente des conséquences directes sur la vie aquatique. La pollution par la matière organique est estimée par la DCO ou demande chimique en oxygène, qui est la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation par des processus chimiques, la DBO₅ ou demande biologique en oxygène, qui est la quantité d'oxygène utilisée en cinq jours par la dégradation naturelle, et le COT ou carbone organique total, qui correspond à la quantité totale de matière organique présente en solution ou en suspension dans une eau (RAMADE, 1998).

Les métaux lourds sont divers et présents en très faibles quantités. Ils proviennent du rejet dans le réseau d'égout de matériaux comme les piles, les batteries, les objets métalliques, ...

Les organismes micro-biologiques présents dans les selles et les urines sont Salmonelles, Shigella, Coliformes, Vibrions, Streptocoques, Entérobactéries, Staphylocoques et Pseudomonas.

Trois points de rejets domestiques, Gountiyéna (GOU), MESS (ME) et Grand Hôtel (GH), situés dans la zone de concentration des rejets, ont été suivis dans le cadre de ce travail.

Conclusion

Il ressort de l'inventaire des sources de pollution une absence de suivi adéquat des rejets aussi bien au plan national (CULOT, 1999) qu'au niveau des établissements visités. Cela se caractérise par une absence totale de base de données et de respect des normes nationales de protection de l'environnement. Généralement, les normes françaises sont utilisées. Actuellement, un projet de normes nationales est élaboré, ce qui témoigne en faveur d'une prise de conscience du danger que constituent les différentes sources de pollution pour notre environnement. Il faut noter entre autres risques la stagnation de ces eaux usées dans des caniveaux très peu fonctionnels avec comme corollaire le développement des moustiques, vecteurs de transmission de maladies comme le paludisme et la fièvre jaune, le déversement direct dans les rues et l'utilisation directe de ces eaux dans le petit maraîchage. Cette mauvaise gestion des eaux usées constitue sans nul doute un problème de santé public très préoccupant. Le traitement et la réutilisation de ces eaux usées en irrigation par exemple pourraient

servir à compenser le déficit hydrique commun aux pays sahéliens comme le Niger (GARBA, 1995).

La caractérisation physico-chimique de ces eaux usées permettra de mieux appréhender la problématique.

2.3. Caractérisation physico-chimique des rejets

2.3.1. Méthodologie

La méthodologie se rapporte au choix des paramètres de suivi de la qualité, à l'échantillonnage et à l'analyse des rejets liquides déversés dans le fleuve Niger à Niamey.

2.3.1.1. Choix des paramètres

Il est guidé par la nature des effluents qui en majorité sont issus des industries agro-alimentaires et des rejets domestiques. Les paramètres suivants ont ainsi été retenus :

- les paramètres physico-chimiques : il s'agit de la température, du pH, de la conductivité, des matières en suspension, de la turbidité, des chlorures et du débit. Le débit des effluents rejetés par chaque point de rejet est obtenu grâce aux études récemment effectuées dans le cadre de l'assainissement de la ville de Niamey (ANONYME, 2000 ; ANONYME, 2001) ;
- les indicateurs de la pollution organique : les paramètres retenus pour ce travail sont la demande chimique en oxygène (DCO) et l'oxygène dissous. Ce dernier reflète tant par son déficit que par son excès une pollution en milieu aquatique. Il traduit d'une part le processus de dégradation de la matière organique qui s'accompagne d'une consommation en oxygène dissous et d'autre part la prolifération des autotrophes qui s'accompagne d'une augmentation en oxygène dissous ;
- et les nutriments : il s'agit des composés azotés sous forme de nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-) et ammonium (NH_4^+) et des composés phosphorés à savoir les orthophosphates (PO_4^{3-}) et le phosphore total (Ptot) dont la présence en excès dans le milieu récepteur peut se traduire entre autres par un développement important du phytoplancton et des macrophytes (ERWIN et *al.*, 1996, FRUGET et *al.*, 2000, GRADY et *al.*, 2003).

Ces paramètres ont été suivis sur l'ensemble des points de rejets répertoriés le long du fleuve Niger à Niamey.

2.3.1.2. Echantillonnage des rejets

Les échantillonnages des rejets ont été effectués à chaque saison d'échantillonnage des eaux du fleuve, un en saison des pluies et deux en saison sèche (étiage et hautes eaux) pendant deux cycles annuels (2004 et 2005).

Les prélèvements ont été effectués toutes les 3 heures, de 6 heures du matin à 18 heures, afin d'obtenir un échantillon moyen représentatif du type de rejet (KOSMALA, 1998). Les échantillons ont été prélevés au point de rejet dans le fleuve et conservés au frais dans une glacière. Les dosages au laboratoire ont été effectués sur les prises journalières cumulées (pool).

Dans cette étude, nous avons accordé à chaque point de rejets le nom de la source de pollution la plus proche du fleuve précédé de la lettre "R".

Sur les dix points de rejet échantillonnés, neuf se trouvent en rive gauche et un seul en rive droite, celui de l'Hôpital National de Lamordé (RHNL).

Ces points sont répartis sur une distance d'environ quatre kilomètres avec en moyenne 567 m séparant deux points consécutifs (Fig. 2.7).

2.3.1.3. Méthodes d'analyse

Les méthodes utilisées par paramètre sont les suivantes :

- la conductivité est mesurée à 25 °C sur le terrain à l'aide d'un conductivimètre WTW LF 318/SET avec une précision de 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- la température est mesurée in situ grâce à un thermomètre couplé à un oxymètre WTW Multiline P3 pH/Oxi-SET avec une précision de 0,1 °C ;
- le pH est déterminé sur le terrain avec un pH-mètre WTW 330i/SET avec une précision de 0,1 ;

Le matériel HACH a été utilisé pour toutes les mesures. Les analyses ont été effectuées au laboratoire d'analyse des eaux de la faculté des sciences au département de géologie de l'université Abdou Moumouni de Niamey.

- l'oxygène dissous est mesuré in situ à l'aide d'un oxymètre WTW Multiline P3 pH/Oxi-SET avec une précision de 0,1 mg l^{-1} ;
- les composés azotés (nitrates, nitrites, ammonium) : les nitrates sont dosés au nitrover 5 (méthode de réduction du cadmium), les nitrites au

nitriver 3 (méthode de diazotisation) et l'ammonium par la méthode de Nessler. La précision est de $\pm 0,03 \text{ mg l}^{-1} \text{ N}$ pour les nitrates, $\pm 0,0011 \text{ mg l}^{-1} \text{ N}$ pour les nitrites et $\pm 0,015 \text{ mg l}^{-1} \text{ N}$ pour l'ammonium.

- les composés phosphorés (phosphore total, orthophosphates) sont dosés avec du phosver 3 avec une précision de $\pm 0,01 \text{ mg l}^{-1} \text{ PO}_4^{3-}$;
- la demande chimique en oxygène (DCO) est déterminée grâce à la méthode de digestion par réacteur. Les gammes de précision sont de $\pm 2,7 \text{ mg l}^{-1}$ pour des concentrations de $0-150 \text{ mg l}^{-1}$; $\pm 18 \text{ mg l}^{-1}$ pour des concentrations de $0-1500 \text{ mg l}^{-1}$; $\pm 100 \text{ mg l}^{-1}$ pour des concentrations de $0-15000 \text{ mg l}^{-1}$;
- les chlorures sont dosés par volumétrie au nitrate mercurique avec une précision de $0,1 \text{ mg l}^{-1}$;

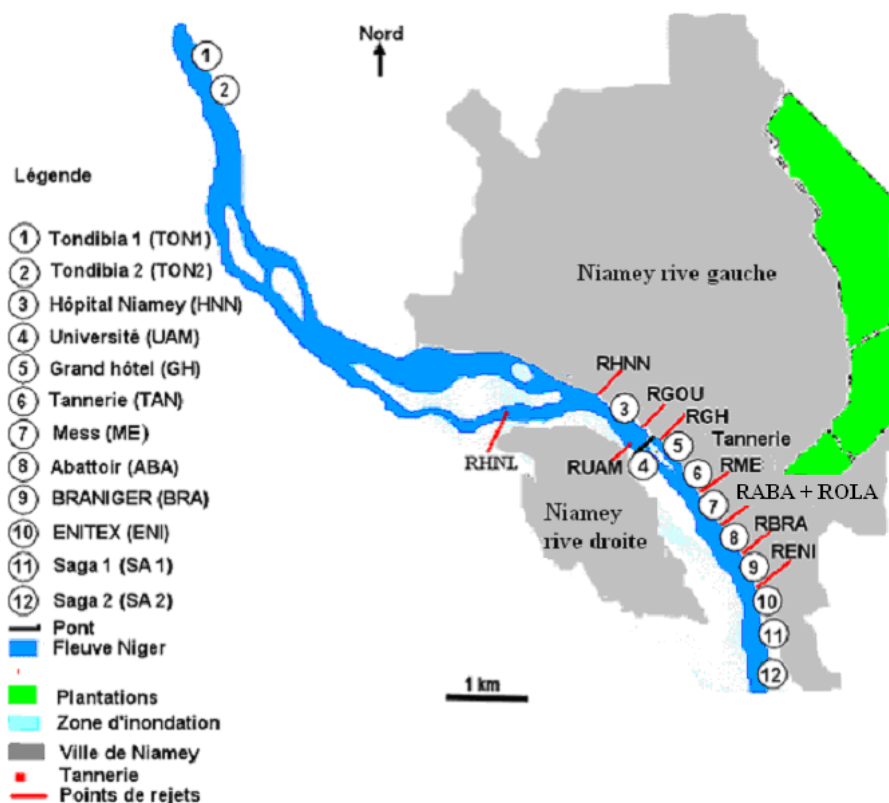


Figure 2.7 : Carte de localisation des points de rejets (—) et des stations de prélèvements (①, ②,...) sur le fleuve Niger à Niamey.

- les matières en suspension sont déterminées par la méthode photométrique.

Tous les dosages ont été effectués le même jour après le prélèvement à l'exception de la DCO qui est dosée en fin de chaque campagne. Dans ce cas, les échantillons sont acidifiés à l'acide sulfurique et conservés à 4 °C. Les échantillons ont été filtrés au filtre Whatman GF/C de porosité 0,45 µm avant le dosage sauf ceux utilisés pour la DCO et le phosphore total.

2.3.2. Résultats

Les résultats des analyses physico-chimiques des rejets sont présentés en annexe 2.1. Ils seront examinés en se référant au projet de normes nationales de rejets de déchets liquides (annexe 2.2). Les paramètres suivis seront regroupés en paramètres physico-chimiques, en paramètres de pollution organique, de pollution azotée et phosphatée pour mieux évaluer le type de risque qui pèse sur le milieu récepteur.

Les charges en matières en suspension, en DCO, en matières azotées et phosphorées ont été évaluées en se basant sur les relations entre les concentrations et les débits (MEYBECK *et al.*, 1996 In : PICOUE, 1999) exprimées par la formule :

$$F = \sum_{i=1}^t C_i Q_i$$
 où F représente la charge, t le temps (jour, semaine, mois,...), C_i et Q_i représentent respectivement la concentration et le débit au temps i.

Les différentes charges (ou flux) sont calculées à chaque point de rejets et comparées à celles obtenues à la station de référence (TON 1) sur le fleuve Niger à Niamey. Les débits des rejets proviennent de l'étude sur l'amélioration de l'assainissement de la ville de Niamey et ceux du fleuve, de la station de référence de l'Autorité du Bassin du Niger (ABN) à Niamey (Fig. 2.8).

2.3.2.1. Paramètres physico-chimiques

Sous cette appellation se trouvent le débit, la température, le pH, la conductivité et les matières en suspension.

Le débit, de tous les points de rejets au fleuve, a fait l'objet d'un suivi journalier et d'une évaluation quantitative lors de l'étude sur l'amélioration de l'assainissement de la ville de Niamey. Les différents débits sont représentés à la figure 2.8. Ils varient de 20 m³ j⁻¹ à 4.858 m³ j⁻¹. En terme de flux d'émission des rejets, les sources domestiques se placent en tête avec au total 8 163 m³ j⁻¹ suivi des rejets industriels (2 225 m³ j⁻¹) et des deux hôpitaux nationaux (347 m³ j⁻¹).

j⁻¹). Le flux total d'effluent aux points de rejets dans le fleuve est de 10 735 m³ j⁻¹ soit 0,02 % du débit journalier du fleuve Niger à Niamey (54 576 000 m³ j⁻¹).

La température des rejets liquides de la ville de Niamey varie de 25 °C, enregistrée dans les rejets domestiques de Gountou Yéna (RGOU), à 30 °C enregistrée à l'Office du Lait du Niger ou ROLA (Fig. 2.9). Ces températures ne sont pas différentes de celles du milieu récepteur pour modifier sa température. Ces valeurs sont d'ailleurs très inférieures au projet de normes nationales qui fixent la température des rejets à 50 °C maximum.

Le pH varie de neutre à légèrement acide pour la majorité des rejets (Fig. 2.10). Néanmoins, trois points de rejets se distinguent ; il s'agit des rejets de l'Office du Lait du Niger ROLA à pH acide (4 à 6), de l'Entreprise Nigérienne de Textile RENI (pH variant de 9 à 11) et de la Tannerie RTAN (9 à 13 de pH) à pH basique. Pour ces trois sources de pollution, les normes en pH ne sont pas souvent respectées (6-9,5). L'acidité des rejets de l'OLANI est liée à l'utilisation de l'acide nitrique tandis que la basicité du pH à la tannerie et à l'ENITEX est liée respectivement à l'utilisation de la chaux éteinte et de la soude caustique.

Le déversement dans le fleuve des rejets de ces trois sources de pollution est susceptible d'influencer les échanges physico-chimiques (GARBA, 1995) et bouleverser la structure des communautés aquatiques (GUEROLD et *al.*, 1991) par acidification ou alcalinisation du milieu récepteur.

La conductivité moyenne des rejets liquides est comprise entre 500 et 1 000 µS cm⁻¹ pour 50 % des points de rejets échantillonnés et supérieure à 1.000 µS cm⁻¹ pour le reste (Fig. 2.11). Les plus faibles conductivités sont enregistrées dans les rejets des Hôpitaux Nationaux de Lamordé (RHNL) et de Niamey (RHNN) avec respectivement 562 µS cm⁻¹ et 633 µS cm⁻¹ ; tandis que les plus élevées proviennent des rejets de la tannerie (RTAN), des rejets domestiques de Gountou Yéna (RGOU) et de l'Entreprise Nigérienne de Textile (RENI) avec respectivement 36 964 µS cm⁻¹, 2 046 µS cm⁻¹ et 1 796 µS cm⁻¹. Ce sont des rejets fortement minéralisés.

Les rejets liquides de la ville de Niamey renferment beaucoup de matière en suspension dont les concentrations varient de 48 mg l⁻¹ à 13 mg l⁻¹ en moyenne (Fig. 2.12). Seul un point de rejet répond au projet de normes nationales (≤ 100 mg l⁻¹), il s'agit de RME avec 48 mg l⁻¹.

Ces matières solides en suspension proviennent non seulement des eaux usées produites mais aussi des apports éoliens dans des collecteurs à ciel ouvert. Cet apport de matière en suspension contribue sans doute au phénomène d'ensablement progressif du lit du fleuve Niger.

La charge en matières en suspension des points de rejets de la ville de Niamey dans le fleuve Niger varie de 13 kg j^{-1} à ROLA à $2\,575 \text{ kg j}^{-1}$ à RGOU (Fig. 2.13). La charge totale des rejets est de $5\,136 \text{ kg j}^{-1}$ dont $4\,441 \text{ kg j}^{-1}$ (86 %) provenant des rejets domestiques, 516 kg j^{-1} (10 %) des unités industrielles et 179 kg j^{-1} (4 %) de l'hôpital national de Niamey (la charge pour l'hôpital national de Lamordé n'a pas été calculée). La charge totale des rejets est 11 000 fois plus faible que celle du fleuve Niger à Niamey (58,13 milliards de tonnes par jours).

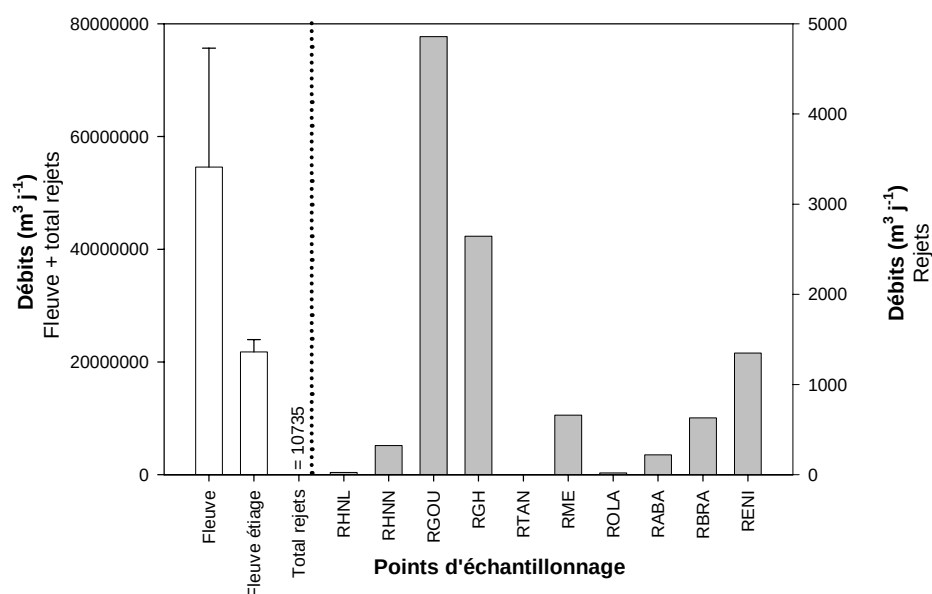


Figure 2.8 : Débits journaliers des points de rejets (ANONYME, 2001) et de la station de référence sur le fleuve Niger (moyenne du 24 mars 2004, 25 juin 2004, 7 janvier 2005, 29 mars 2005, 4 juillet 2005 et 5 novembre 2005)

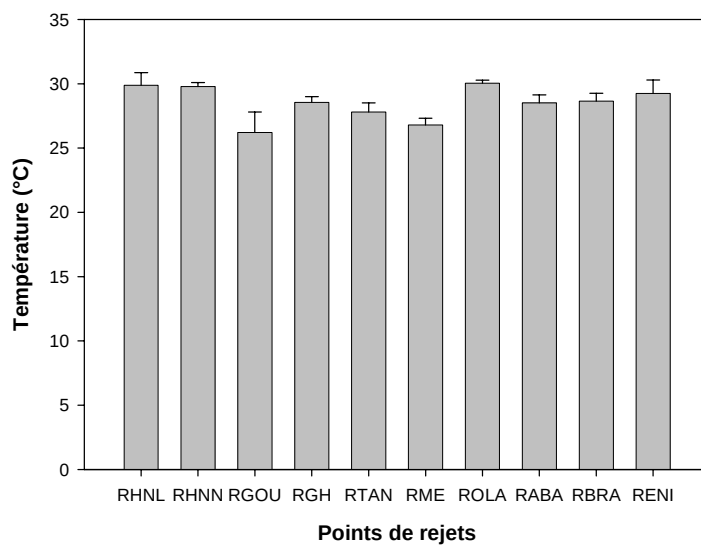


Figure 2.9 : Températures des différents rejets de la ville de Niamey (N = 6)

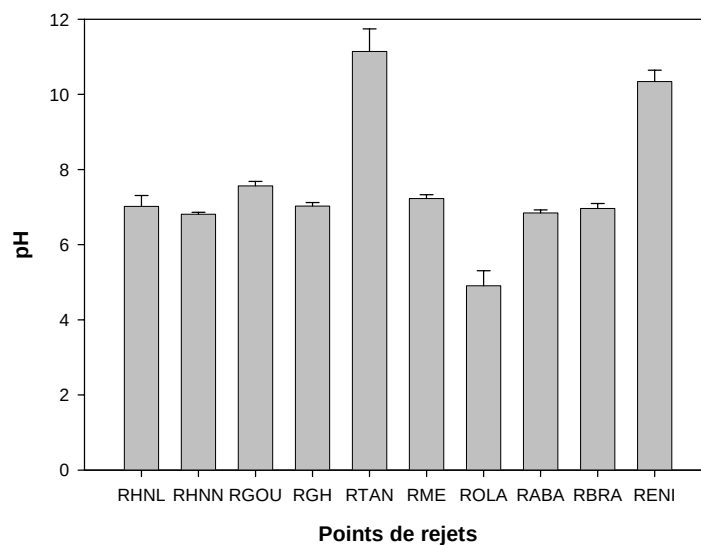


Figure 2.10 : pH des différents rejets de la ville de Niamey (N = 6)

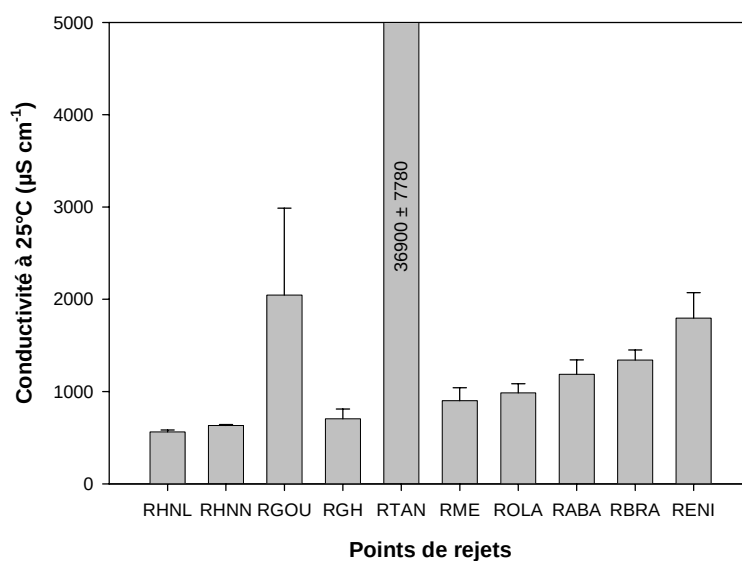


Figure 2.11 : Conductivité des différents rejets de la ville de Niamey (N = 6).

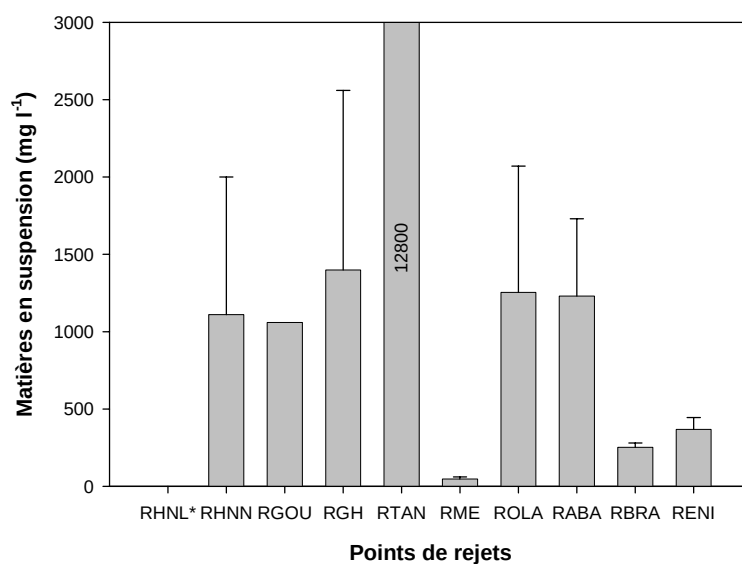


Figure 2.12 : Matières en suspension des différents rejets de la ville de Niamey (* = non mesurer, N = 3).

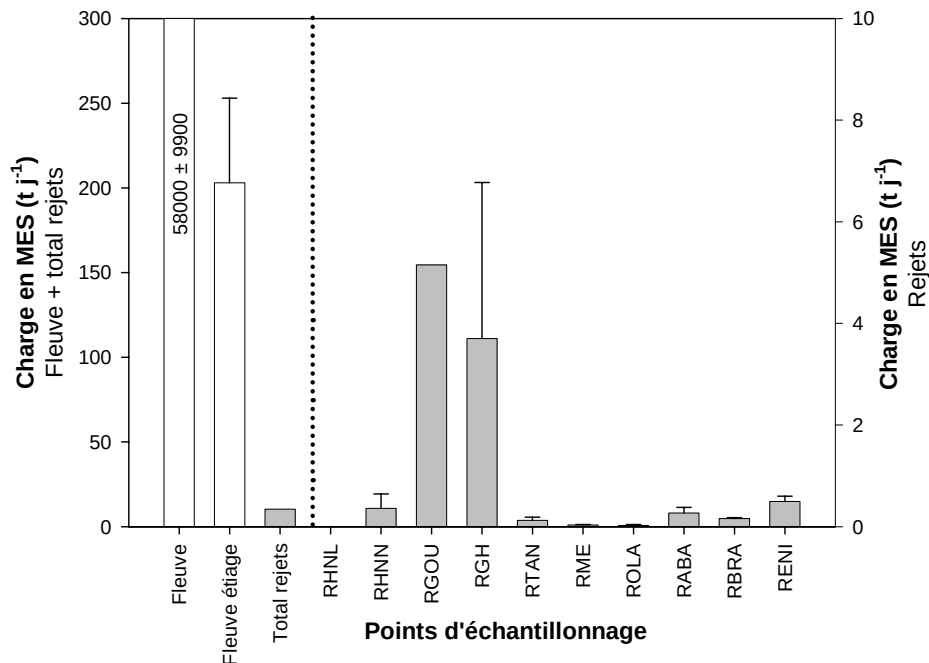


Figure 2.13 : Charge moyenne journalière en matières en suspension des points de rejets et des eaux du fleuve Niger à Niamey (moyenne du 24 mars 2004, 25 juin 2004, 7 janvier 2005, 29 mars 2005, 4 juillet 2005 et 5 novembre 2005).

2.3.2.2. Paramètres de pollution organique

Deux paramètres ont été suivis dans le cadre de cette étude. Il s'agit de la demande chimique en oxygène (DCO) et de l'oxygène dissous (O_2).

La demande chimique en oxygène de tous les points de rejets est non conforme aux normes nationales de rejets fixées à une valeur inférieure à 100 mg l^{-1} (Fig.2.14). Ainsi, RHNL, RGOU et RENI ont des DCO comprises entre 100 et 500 mg l^{-1} , RHNN, RME et RGH des DCO comprises entre 500 et $1\,000 \text{ mg l}^{-1}$, ROLA, RABA et RBRA des DCO supérieures à $1\,000 \text{ mg l}^{-1}$.

La charge totale en DCO apportée par les rejets s'élève à environ 5,6 tonnes par jour (Fig. 2.15). Les rejets domestiques contribuent à 49 %, les rejets industriels à 48 % et les rejets hospitaliers à 3 %. Cette

charge représente le centième de la charge en DCO du fleuve Niger à la station de référence, TON 1 (543 tonnes de DCO par jour).

Les teneurs moyennes en oxygène dissous dans les rejets varient de 0,40 à 3,40 mg l⁻¹ (Fig. 2.16). Les teneurs les plus faibles sont obtenues à RGOU (0,40 mg l⁻¹) suivi de RTAN (0,90 mg l⁻¹), de RHNN (1,50 mg l⁻¹) et de RBRA (1,70 mg l⁻¹) et la plus élevée à RME (3,40 mg l⁻¹).

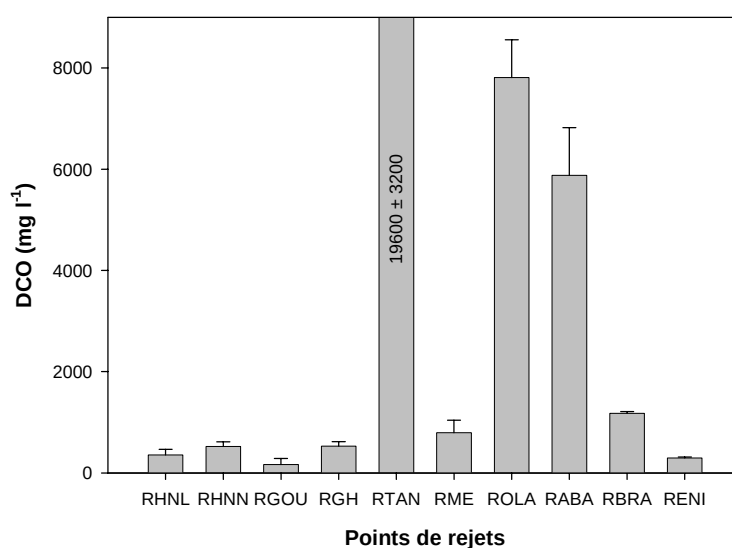


Figure 2.14 : Demande chimique en oxygène des différents rejets de la ville de Niamey (N = 6).

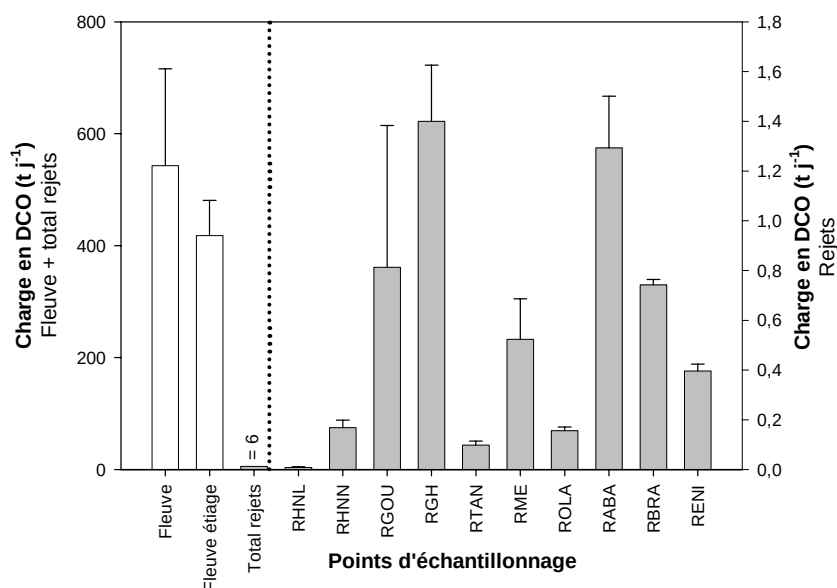


Figure 2.15 : Charge moyenne journalière en demande chimique en oxygène des points de rejets et des eaux du fleuve Niger à Niamey (moyenne du 24 mars 2004, 25 juin 2004, 7 janvier 2005, 29 mars 2005, 4 juillet 2005 et 5 novembre 2005).

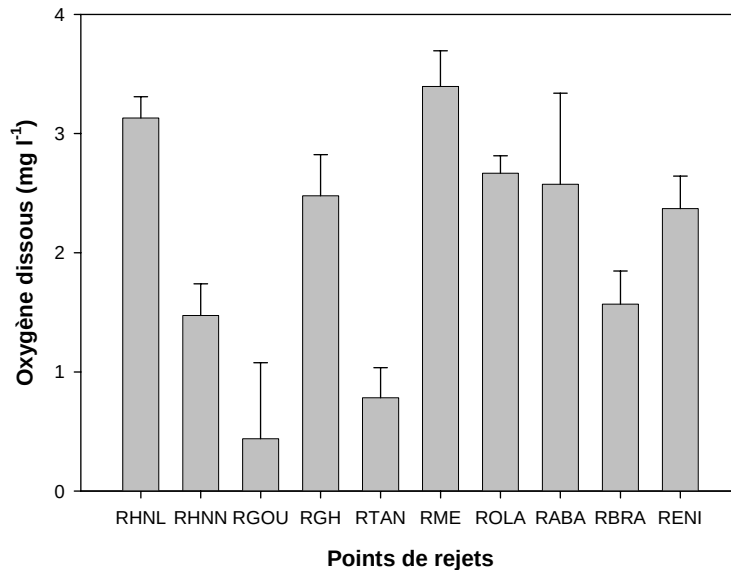


Figure 2.16 : Concentration en oxygène dissous des différents rejets de la ville de Niamey (N = 6).

Les concentrations en DCO et en oxygène dissous des rejets exposent le milieu récepteur à une pollution organique très élevée avec pour conséquence une baisse de sa capacité à s'auto-épurer. Cette tendance est également ressortie des études antérieures (MOUMOUNI, 2002 ; ANONYME, 2000).

La matière organique constitue dans l'eau un apport alimentaire pour les microorganismes qui en la dégradant consomment l'oxygène du milieu qui devient de plus en plus déficitaire.

2.3.2.3. Paramètres azotés et phosphatés

Cinq paramètres ont été suivis. Il s'agit des composés azotés, à savoir les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-) et l'ammonium (NH_4^+) et des composés phosphorés, à savoir les orthophosphates (PO_4^{3+}) et le phosphore total (P_{tot}).

Les concentrations moyennes en nitrates dans les rejets varient de 1 à 134 mg l^{-1} (Fig. 2.17). La concentration maximale est obtenue à RTAN (134 mg l^{-1}) suivi de RABA (21 mg l^{-1}). RMES a la concentration la plus faible (1 mg l^{-1}).

La charge totale en nitrates des rejets est de 31 kg N j^{-1} dont 53 % apportées par les rejets domestiques, 45 % par les unités industrielles et 2 % par les sources hospitalières (RHNN et RHNL). Cette charge ne représente que 0,06 % du flux de nitrates dans le fleuve Niger à la station de référence TON 1 (moyenne étiage, saison des pluies, crue) qui s'élève à 51 t N j^{-1} (Fig. 2.18).

Les concentrations moyennes en nitrites représentées à la figure 2.19 varient de 0,34 mg l^{-1} (ROLA) à 622,5 mg l^{-1} (RABA).

L'apport journalier total en nitrites de l'ensemble des points de rejets dans le fleuve se chiffre à 237 kg N j^{-1} dont 65 % apportées par les rejets industriels, 35 % par les rejets domestiques et 0,2 % par les rejets de l'hôpital national de Niamey. Il représente 79,10 % du flux en nitrites (moyenne étiage, saison des pluies, crue) du fleuve Niger en amont de la ville de Niamey qui est de 300 kg N j^{-1} (Fig. 2.20).

Les concentrations moyennes en ammonium varient de 5 à 251 mg l^{-1} enregistrées respectivement à RENI et RTAN (Fig. 2.21). Seuls trois points de rejets sont dans les normes ($\leq 40 \text{ mg l}^{-1}$) à savoir RENI, ROLA avec 31 mg l^{-1} et RBRA avec 32 mg l^{-1} . La charge totale des rejets en ammonium est de 500 kg N j^{-1} provenant essentiellement des rejets domestiques (87 %). Le flux en ammonium des rejets industriels et hospitaliers représente respectivement 9 % et 4 % du flux total des

rejets. Ce dernier constitue 7 % du flux en ammonium du fleuve en amont de la ville de Niamey à TON1 qui est estimé à 7 t j^{-1} (Fig. 2.22).

Concernant les orthophosphates, RENI enregistre la plus faible concentration (2 mg l^{-1}). ROLA enregistre par contre la plus forte teneur suivie de RABA et de RTAN avec respectivement 28 mg l^{-1} , 20 mg l^{-1} et 17 mg l^{-1} (Fig. 2.23).

En terme de flux, l'ensemble des rejets renferme 90 kg j^{-1} soit 1,3 % de la charge journalière en orthophosphates (moyenne étiage, saison des pluies, crue) du fleuve à TON 1 qui est de 7 t j^{-1} (Fig. 2.24). Les apports des rejets domestiques sont les plus importants avec 87 % suivis des rejets industriels 10 % et hospitaliers 3%.

RABA et ROLA sont en tête des concentrations en phosphore total avec 15 mg l^{-1} . Ils sont suivis de RGOU et de RME avec chacun 14 mg l^{-1} . La plus faible concentration moyenne est de 2 mg l^{-1} obtenu à RENI (Fig. 2.25).

Le flux total des rejets en phosphore total se chiffre à 125 kg P j^{-1} soit 1,13 % du flux du fleuve Niger (moyenne étiage, saison des pluies, crue) à la station de référence TON 1 (Fig. 2.26). La charge en phosphore total du fleuve à cette station est de 11 t j^{-1} . La charge en phosphore total des rejets est plus importante dans les rejets domestiques où elle représente 90 % de la charge totale. Elle est de 8 % dans les rejets industriels et 2 % dans les rejets hospitaliers.

Dans leur majorité, les eaux de rejets ne satisfont pas au projet national de normes de rejets. Ainsi, selon leur forme, ces paramètres ont des effets différents sur le milieu récepteur. Il s'agit de la désoxygénation de l'eau par l'azote organique, de la production du gaz ammoniac toxique pour les poissons à partir de l'azote ammoniacal et de la prolifération d'algues et des macrophytes par l'azote nitrique et les phosphates (FOSS et *al.*, 2003 ; YEGUANG et *al.*, 2006) plus le colmatage par les matières en suspension, etc.

L'analyse de la relation entre la charge polluante et le débit montre une corrélation significative ($P < 0,5$).

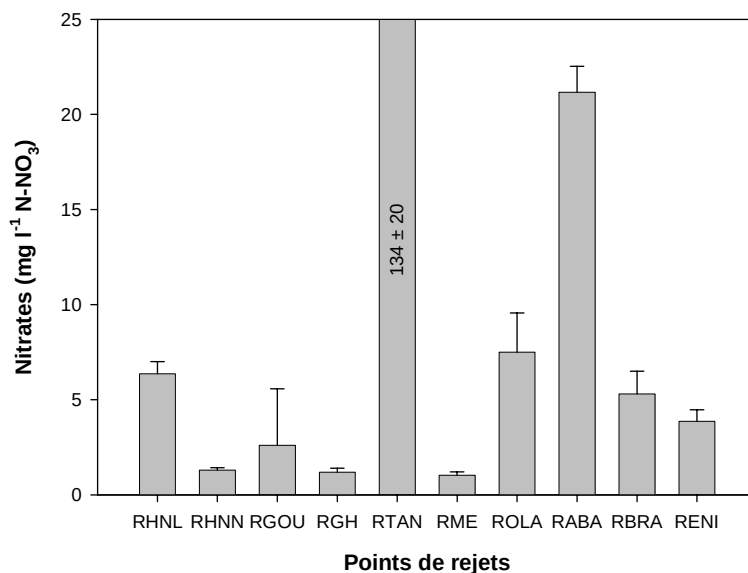


Figure 2.17 : Concentration en nitrates des différents rejets de la ville de Niamey (N = 6).

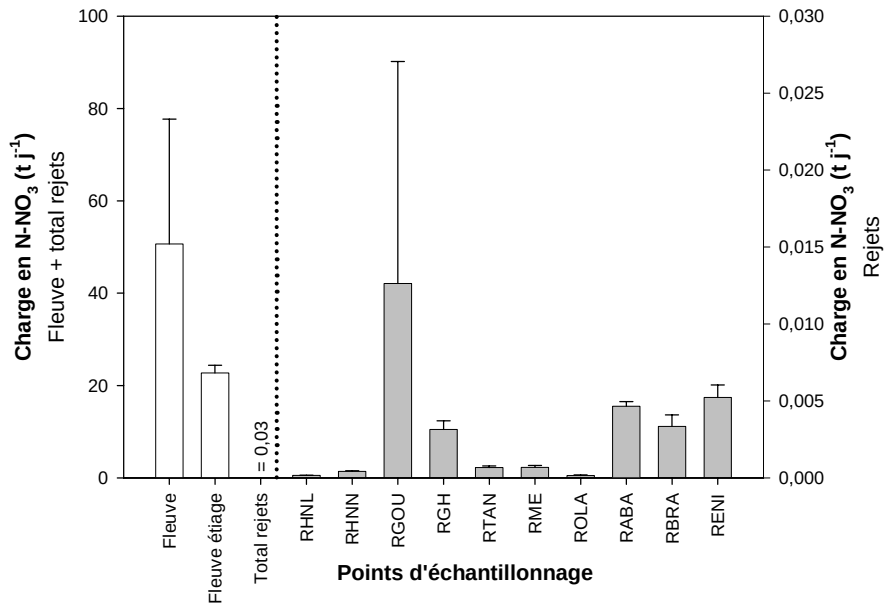


Figure 2.18 : Charge moyenne journalière en nitrates des points de rejets et des eaux du fleuve Niger à Niamey (moyenne du 24 mars 2004, 25 juin 2004, 7 janvier 2005, 29 mars 2005, 4 juillet 2005 et 5 novembre 2005).

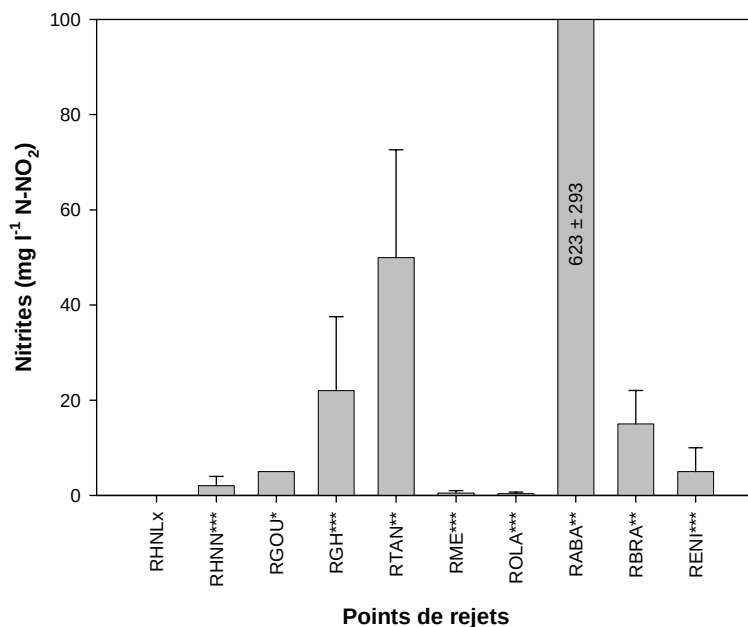


Figure 2.19 : Concentration en nitrites des différents rejets de la ville de Niamey (x = non mesuré, * N = 1, ** N = 2, *** N = 3).

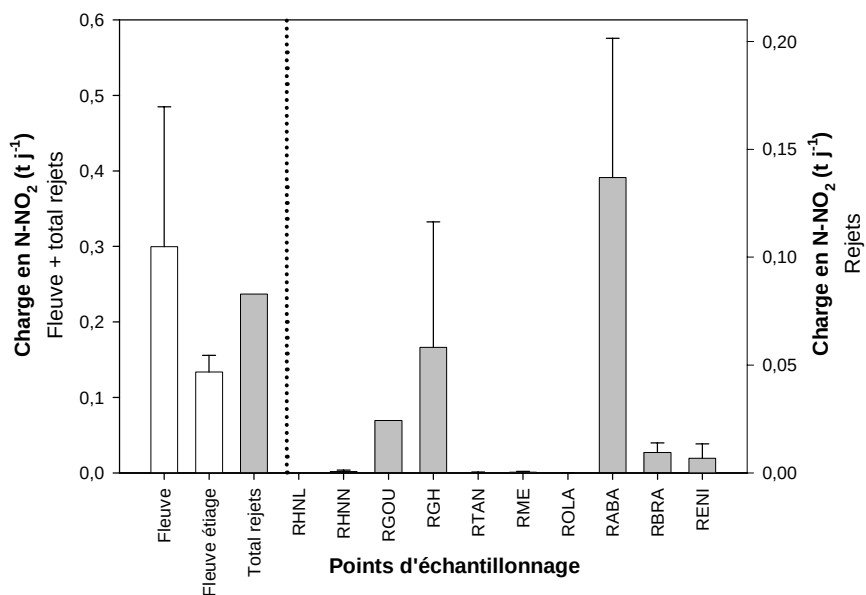


Figure 2.20 : Charge moyenne journalière en nitrites des points de rejets et des eaux du fleuve Niger à Niamey (moyenne du 24 mars 2004, 25 juin 2004, 7 janvier 2005, 29 mars 2005, 4 juillet 2005 et 5 novembre 2005).

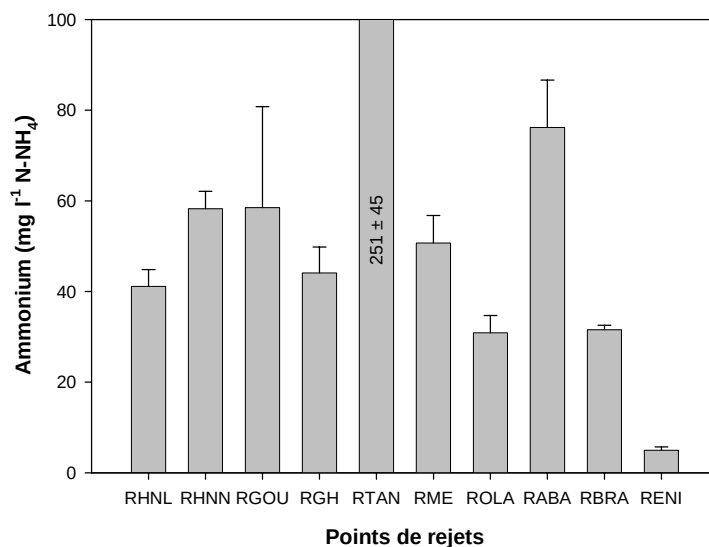


Figure 2.21 : Concentration en ammonium des différents rejets de la ville de Niamey (N = 6).

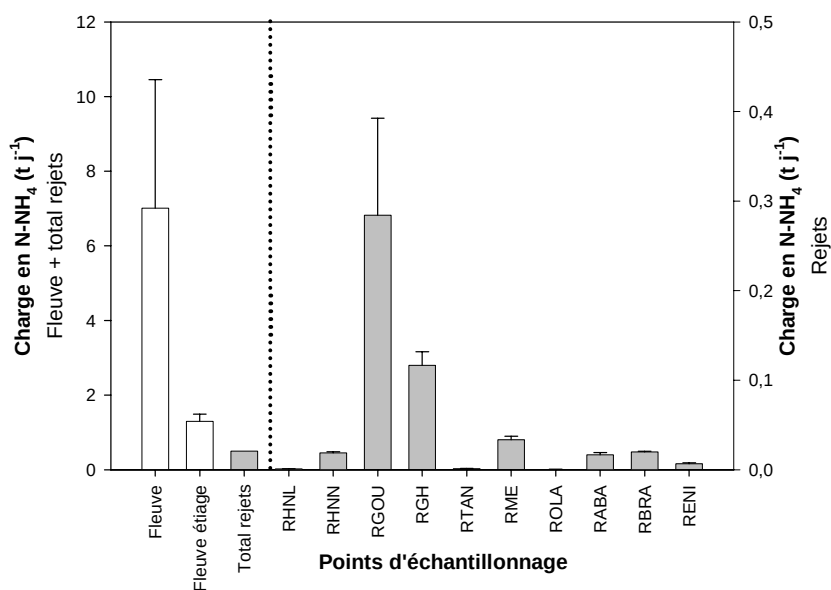


Figure 2.22 : Charge moyenne journalière en ammonium des points de rejets et des eaux du fleuve Niger à Niamey (moyenne du 24 mars 2004, 25 juin 2004, 7 janvier 2005, 29 mars 2005, 4 juillet 2005 et 5 novembre 2005).

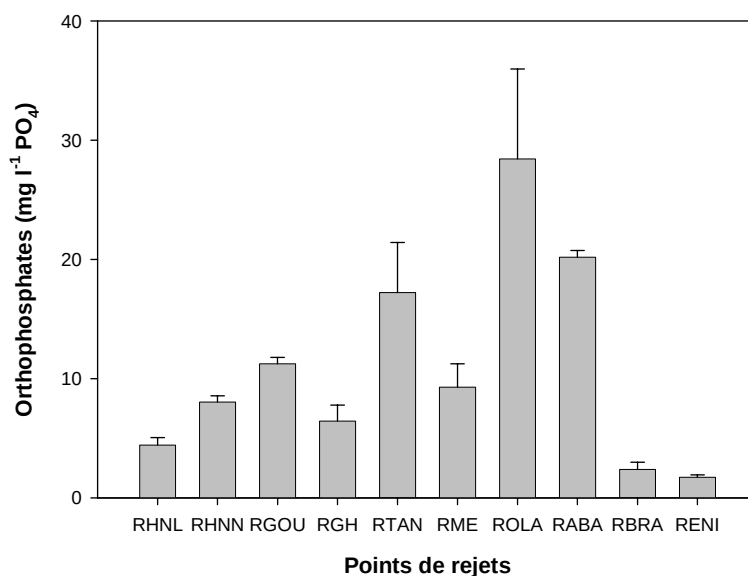


Figure 2.23 : Concentration en orthophosphates des différents rejets de la ville de Niamey (N = 6).

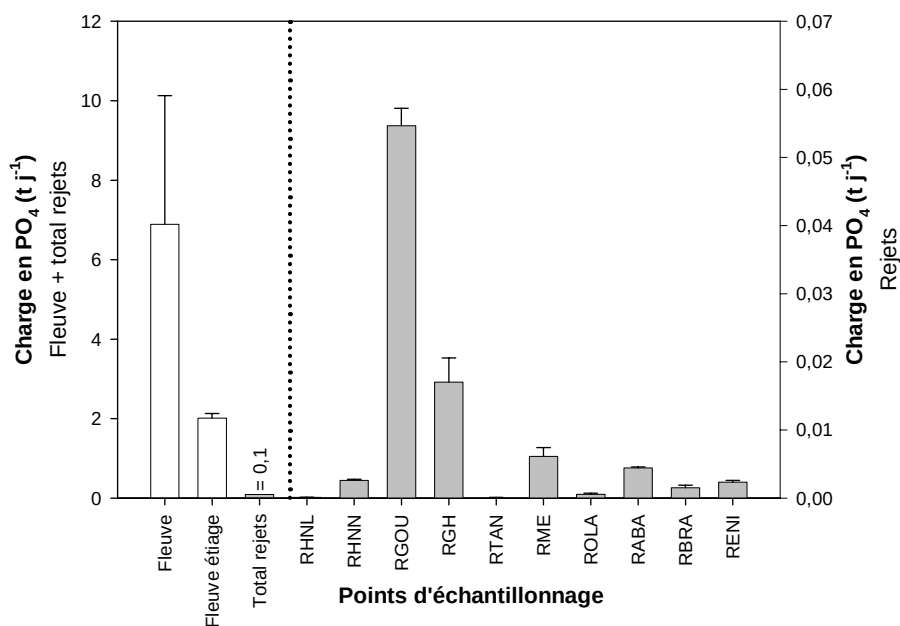


Figure 2.24 : Charge moyenne journalière en orthophosphates des points de rejets et des eaux du fleuve Niger à Niamey (moyenne du 24 mars 2004, 25 juin 2004, 7 janvier 2005, 29 mars 2005, 4 juillet 2005 et 5 novembre 2005).

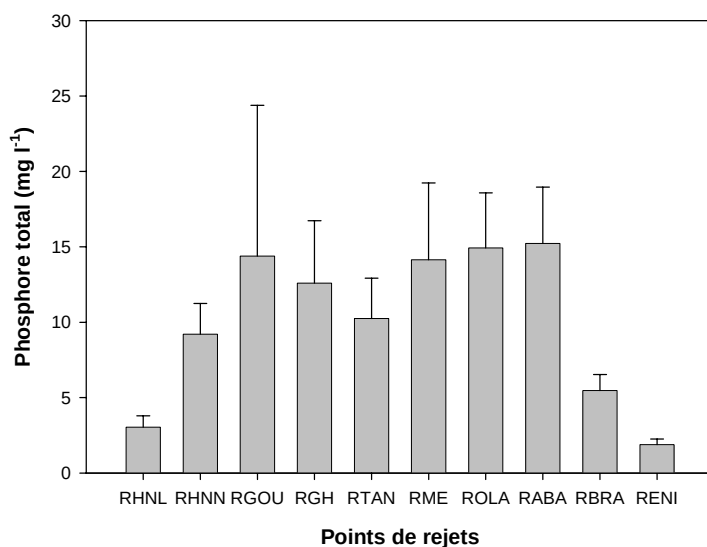


Figure 2.25 : Concentration en phosphore total des différents rejets de la ville de Niamey (N = 6).

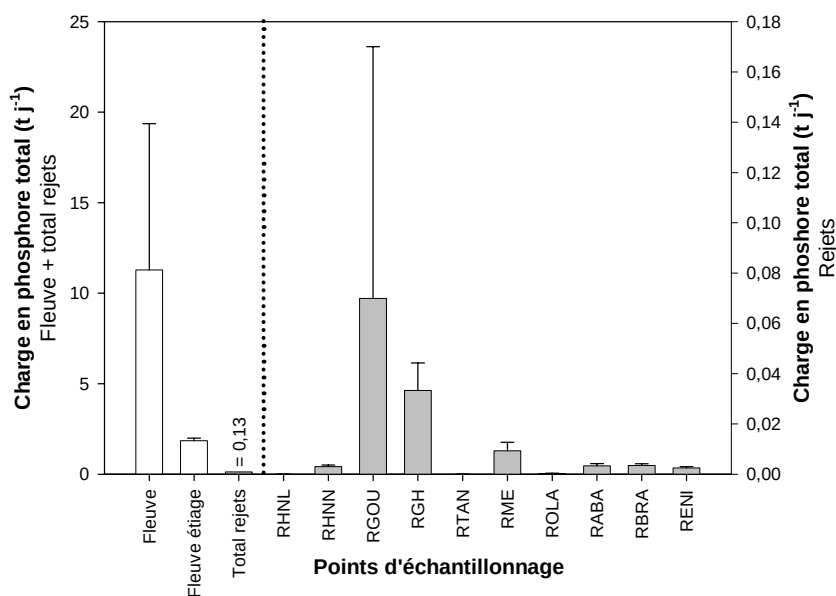


Figure 2.26 : Charge moyenne journalière en phosphore total des points de rejets et des eaux du fleuve Niger à Niamey (moyenne du 24 mars 2004, 25 juin 2004, 7 janvier 2005, 29 mars 2005, 4 juillet 2005 et 5 novembre 2005).

2.3.2.4. Classification des rejets en fonction des paramètres écologiques mesurés

Cette classification est basée sur une analyse en composantes principales des résultats physico-chimiques obtenus. Ces derniers sont d'abord normalisés puis centrés réduits (LEGENDRE et LEGENDRE, 1998). La normalisation des données est testée dans Statistica en vérifiant le rapport asymétrie sur erreur asymétrie. Ce rapport est inférieur à deux pour une distribution normale (LEGENDRE et LEGENDRE, 1998). Les données sont normalisées à partir des types de transformation donnés en annexe 2.3. Elles sont ensuite centrées réduites en divisant la différence entre la valeur brute et la moyenne par l'écartype.

L'analyse et les graphiques sont effectués à partir du programme "R" et le package ADE-4 version 2.3.1. (IHAKA et GENTLEMAN, 1996 ; THIOULOUSE et *al.*, 1997) accessible gratuitement sur le site <http://pbil.univ-lyon1.fr>.

Il ressort de cette analyse que 62 % de la variabilité observée sont expliqués par les deux premières composantes, dont 39 % par l'axe 1 et 23 % par l'axe 2 (Fig. 2.27 et 2.28).

L'axe 1 est fortement corrélé à la conductivité ($r = 0,84$), DCO ($r = 0,73$), NH_4^+ ($r = 0,70$), NO_3^- ($r = 0,82$) et Cl^- ($r = 0,81$).

L'axe 2 est corrélé fortement à PO_4^{3-} ($r = - 0,78$), Ptot ($r = - 0,73$) et pH ($r = 0,80$).

La corrélation des composantes principales aux paramètres physico-chimiques étudiés est donnée par la figure 2.27.

La répartition sur l'axe 1 des rejets affiche trois groupes principaux (Fig. 2.28) :

- les rejets de la tannerie qui se distinguent par des fortes concentrations de DCO, NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- , K et de faibles concentrations en oxygène dissous ;
- les rejets de l'abattoir qui en plus des concentrations élevées en NH_4^+ et DCO renferment de fortes teneurs en Ptot et PO_4^{3-} ;
- les rejets de la brasserie du Niger, les rejets domestiques débouchant près du Grand hôtel et de la Mess, les rejets des hôpitaux de Lamordé et de Niamey qui s'opposent à la tannerie par les concentrations en DCO, NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- et conductivité (K) moins élevées et les teneurs plus élevées en oxygène dissous.

L'axe 2 par contre sépare les rejets de l'entreprise nigérienne de textile (RENI) à pH basique de ceux de l'office du lait du Niger (ROLA) à pH acide (Fig. 2.28). En plus de leur caractère acide, les rejets de L'OLANI sont riches en phosphore total et orthophosphates comparativement à ceux de l'ENITEX.

Cette analyse montre la similarité pour les paramètres mesurés dans la composition des rejets des hôpitaux et des rejets domestiques (Fig. 2.29). Il ressort également de cette analyse que les rejets de la tannerie et de l'abattoir sont les plus pollués.

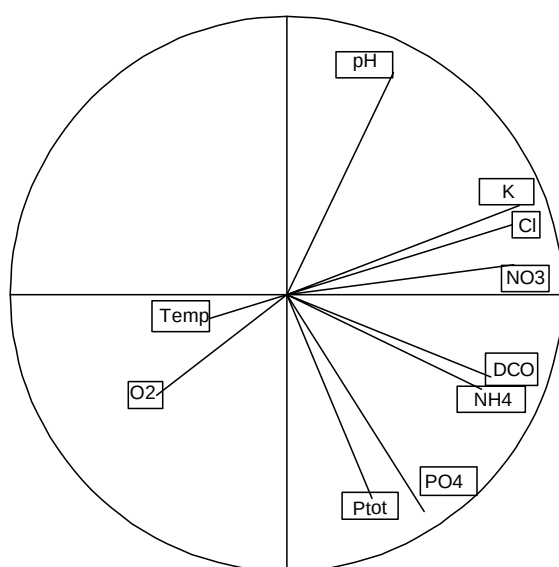


Figure 2.27 : Cercle de corrélation des variables physico-chimiques aux axes 1 et 2.

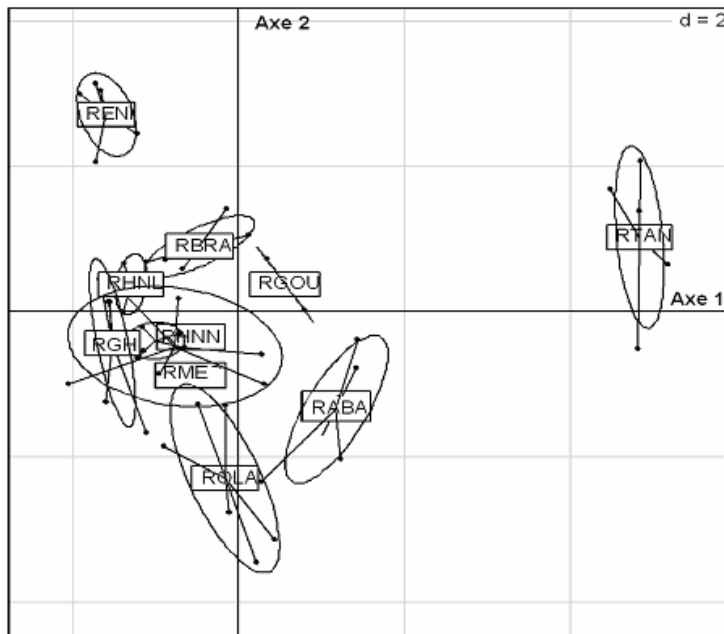


Figure 2.28 : Distribution des rejets dans le plan des axes 1 et 2.

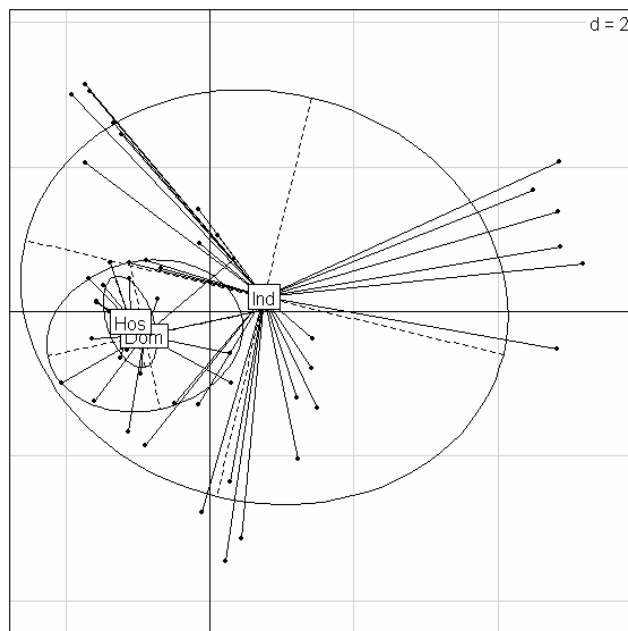


Figure 2.29 : Distribution des types de rejets dans le plan des axes 1 et 2 (Hos = hospitaliers ; Dom = domestiques ; Ind = industriels).

2.3.3. Discussion

Ce chapitre nous a permis de faire le point sur les différentes sources de pollution du fleuve Niger à Niamey, de calculer les concentrations en polluants des rejets et d'évaluer les charges polluantes à chaque point de rejets dans le fleuve.

Globalement, il ressort des résultats de cette étude qu'aucun point de rejets ne donnent entière satisfaction au projet de normes nationales de rejets de déchets liquides, qu'ils s'agissent des sources de pollution domestiques, hospitalières ou industrielles dotées ou non de station d'épuration. Cela est le signe d'un dysfonctionnement des stations d'épuration disponibles. C'est le cas de la station d'épuration de la brasserie du Niger dont la capacité se trouve dépassée et de celles de l'entreprise nigérienne de textile, de l'office du lait du Niger et de l'hôpital national de Niamey qui sont souvent en panne. Il faut également ajouter le manque de rigueur dans l'application des textes en matières de gestion des déchets et de protection de l'environnement.

Hormis la tannerie qui évacue ses rejets liquides par citerne vers les lieux de décharge, toutes les autres entreprises déversent leurs eaux usées directement dans le fleuve Niger avec toutes les formes de pollution qu'elles renferment (matière organique, nutriments, métaux lourds, bactéries, matières en suspension).

Le cas de la tannerie ne met pas le fleuve Niger totalement à l'abri de la pollution qu'elle engendre. Les risques de pollution proviennent de son implantation au voisinage immédiat de ce cours d'eau, du rinçage direct des peaux dans le fleuve, de la présence d'un important dépôt de déchets solides jouxtant le fleuve et du séjour prolongé des déchets liquides dans la fosse dégageant des odeurs nauséabondes.

Il faudrait souligner également que tous ces points de rejets se trouvent concentrés sur un tronçon de 3 972 m environ sur les 15 km de parcours du fleuve Niger dans la ville de Niamey soit une distance moyenne de 567 m qui sépare deux points de rejets consécutifs. Il en résulte une augmentation des risques de pollution déjà prévisibles à travers la qualité physico-chimique des rejets et ce plus particulièrement sur les berges où les effluents sont directement évacués et le courant plus faible.

L'évaluation de la charge polluante montre que les rejets domestiques et industriels ont des charges en matières organiques et en nitrates les plus élevées. Les charges en ammonium, orthophosphates, phosphore

total et matières en suspension sont plus importantes dans les rejets domestiques tandis que les rejets industriels sont plus chargés en nitrites. La charge polluante est corrélée au débit qui est plus élevé pour l'ensemble des rejets domestiques suivi des rejets industriels.

La charge polluante ne traduit pas la qualité du rejet qui varie d'un point à un autre pour un même type de rejets. De plus, cette évaluation de charge ne prend pas en compte la variation des débits de rejets dans le temps par manque de données régulières. Néanmoins, elle permet de faire une idée de l'ampleur de l'impact des rejets sur le milieu récepteur.

La charge totale en matières azotées contenue dans l'ensemble des rejets est composée de 65 % de N-NH₄, 31 % de N-NO₂ et 4 % de N-NO₃. Ces proportions traduisent une faible nitrification qui aboutit à des concentrations en ammonium plus importantes suivies des nitrites. Il se produit dans les caniveaux une fermentation liée à la stagnation d'une quantité importante d'effluents chargés en matières organiques avant d'être lentement évacués vers le fleuve. La charge totale des rejets en matières organiques est d'ailleurs plus élevée que celles en matières azotées et en matières phosphorées.

En somme, les charges polluantes des rejets sont très faibles par rapport à celle du fleuve Niger à TON 1 à l'exception de N-NO₂⁻ qui est plus élevée que la moyenne du fleuve à TON 1 en étiage (Fig. 2.20). La concentration en effluents des eaux du fleuve Niger à Niamey est très faible et loin d'engendrer un impact significatif sur l'ensemble de l'écosystème. La mise en évidence de l'impact des rejets de la ville de Niamey sur l'ensemble de cet écosystème aquatique serait alors difficile à cause de la dilution qui est très importante. Néanmoins, le déversement direct des effluents sur les berges présente des risques de contamination par des maladies hydriques (choléra, bilharziose,...) pour la population riveraine qui utilise les eaux du fleuve pour des activités diverses (boisson, lessive, vaisselle, baignade, pêche, petite irrigation,...). Les apports par les eaux de ruissellement en saison des pluies et la pollution par le bétail qui se repaît le long du fleuve surtout en période de soudure constituent une source de pollution diffuse. La charge polluante liée à ce type de pollution et l'impact des rejets sur la population riveraine ne sont pas évalués dans cette étude.

Compte tenu de l'importance de la dilution des rejets par les eaux du fleuve Niger à Niamey, il semble plus judicieux de rechercher l'impact de ces rejets sur la qualité des eaux du fleuve en se focalisant sur les berges. Ces dernières sont des zones sensibles pour un

écosystème aquatique comme le fleuve Niger aussi fréquenté par la population. Néanmoins, en saison des pluies, le drainage par les eaux de ruissellement des caniveaux déjà colmatés par différents types de déchets pourrait affecter l'ensemble du fleuve surtout dès les premières pluies.

Dans la suite du travail, nous avons donc essayé d'évaluer l'impact des rejets de la ville de Niamey sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux du fleuve Niger puis sur la distribution des communautés de macroinvertébrés le long des berges.

Références bibliographiques

ANONYME, 2000. Etudes de base sur les établissements dangereux, incommodes et insalubres. Rapport final. Bureau d'étude CEH-SIDI, Niamey, 31 p.

ANONYME, 2001. Etude sur l'amélioration de l'assainissement de la ville de Niamey en République du Niger. Rapport final provisoire. Vol.II : Rapport principal. Tokyo Engineering Consultants CO., LTD and Yachiyo Engineering CO., LTD., 497 p.

BERNERT G., DEHAYS H., GARIN H. et ZUNINO C., 1985. Programme d'urgence pour le renforcement de l'alimentation en eau potable des quartiers de la périphérie de Niamey (Niger). BRGM, 52 p.

CULOT M., 1999. Evaluation technique du projet Aquadev Niger VII : épuration pilote à Niamey, Rapport. Final, 15 p.

DAJOZ R., 1996. Précis d'écologie. 2^e et 3^e cycle universitaires. 6^e édition, Dunod, Paris, 542 p.

DESCONNETS J. C., 1994. Typologie et caractéristique des systèmes endoréiques en milieu sahélien (Niger degré carré de Niamey). Thèse de Doctorat, univ. Montpellier 326 p.

DODO A., 1992. Etude des circulations profondes dans le grand bassin sédimentaire du Niger : Identification des aquifères et compréhension de leurs fonctionnements. Thèse de Doctorat ès sciences, univ. Neuchâtel (Suisse), 101 p.

ERWIN E. VAN NIEUWENHUYSE and JOHN R. JONES, 1996. Phosphorus-chlorophyll relationship in temperate streams and its variation with stream catchment area. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53: 99-105.

FOSS A., VOLLEN T. et ØIESTAD V., 2003. Growth and oxygen consumption in normal and O₂ supersaturated water, and interactive effects of O₂ saturation and ammonia on growth in spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olafsen). Aquaculture 224: 105-116

FRUGET J-F., PERSAT H. et VILLIEN J., 2000. Changement de l'équilibre trophique de la basse Saone : Influence de l'eutrophisation et de la contamination toxique, 9 p.

GARBA L., 1995. Perspective des eaux usées au Sahel : Gestion et traitement. Thèse de Doctorat Univ. Montréal (France), 233 p.

GRADY H., MARTHA G., WILLIAM A. H. and PAUL J. W., 2003. Evaluation of phosphorus concentration in relation to annual and seasonal physico-chemical water quality parameters in a UK chalk stream. *Water Research*, 37: 3579-3589.

GUEROLD F., VEIN D. et JACQUEMIN G., 1991. Les peuplements d'éphéméroptères, de plécoptères et de trichoptères des ruisseaux acides et non acides du massif vosgien : première approche. *Revue des sciences de l'eau*, 4 : 299-314.

IHAKA R. and GENTLEMAN R., 1996. R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5: 299-314.

KOSMALA A., 1998. Evaluation écotoxicologique de l'impact des effluents de stations d'épuration sur les cours d'eau : intérêt d'une approche intégrée. Thèse de doctorat, Univ. de Metz (France), 189 p.

LEDUC C. and TAUPIN J. D., 1993. Hydrochemistry of the continental terminal phreatic aquifer near Niamey (Niger). ORSTOM, 12 p.

LEDUC C., TAUPIN J. D. et LE GAL LA SALLE C., 1996. Estimation de la recharge de la nappe phréatique du Continental terminal (Niamey-Niger) à partir des teneurs en tritium. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Série IIa, Paris : T. 323.

LEGENDRE P. and LEGENDRE L., 1998. Numerical Ecology. Second English edition. ELSEVIER Science B.V., Amsterdam, 853 p.

MAIGA A. H., WETHE J., SEIDL M., MOUCHEL J. M. et DEMBELE A., 2002. Valorisation des sous produits de l'épuration par lagunage en Afrique de l'ouest et du centre : Analyse comparative des pratiques dans six pays au sud du Sahara, 10 p.

MEYBECK M., PASCO A. et RAGU A., 1996. Evaluation des flux polluants dans les eaux superficielles. Etude inter-Agence de l'eau, Ministère de l'environnement, 3 tomes In : PICOUET C., 1999. Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropisé : le bassin du Niger supérieur et son delta intérieur. Thèse de Doctorat, Univ. Montpellier II, 469 p.

MOUMOUNI H., 2002. Epuration des eaux usées urbaines par lagunage à macrophytes et possibilités de valorisation de la biomasse à la station pilote de l'université Abdou Moumouni de Niamey. Rapport de stage, 45 p.

PELLETIER L., 2002. Le bassin de la rivière Saint-Maurice : les communautés benthiques et l'intégrité biotique du milieu. Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec, 83 p.

RAMADE F., 1998. Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Ediscience international, Paris (France), 750 p.

THIOULOUSE J., CHESSEL D., DOLEDEC S. and OLIVIER, 1997. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing* 7: 75-83.

TIRAT M., 1964. Contribution à l'étude hydrogéologique du continental terminal. Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), 75 p.

YEGUANG L., ZHONGKUI L., YAHONG G., HONGJUN H., CHUNTAO Y., YEXIN O. et JIANPING G., 2006. Effect of N, P concentration on growth rate. *Acta Ecologica Sinica*, 26: 317-325.

Chapitre 3 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux du fleuve Niger à Niamey

L'apport des effluents en milieu aquatique peut profondément modifier la physico-chimie du milieu récepteur (MOKAYA et *al.*, 2004 ; PIYANKARAGE et *al.*, 2004). Ces modifications sont fortement liées au régime hydrologique des cours d'eau (MWASHOTE et *al.*, 2005 ; SHOMAR et *al.*, 2005 ; MALAVOI et SOUCHON, 1992).

L'étude de l'impact de ces apports sur le milieu récepteur se fait à travers des approches multiples liées à la complexité des écosystèmes aquatiques (YOUNES-BARAILLE et *al.* 2005 ; VANDEN BOSSCHE et USSEGLIO-POLATERA, 2005 ; NDARUGA et *al.*, 2004 ; SMOLDERS et *al.*, 2004 ; MATHOOKO et *al.*, 2001). Toutes ces approches présentent des limites et sont par conséquent complémentaires ; d'où l'intérêt de les utiliser conjointement pour pallier à certains inconvénients.

Ce chapitre se limite à l'examen de l'impact des rejets de la ville de Niamey sur la qualité des eaux du fleuve Niger à travers une approche physico-chimique.

La physico-chimie indique les causes de la perturbation relevée au moment des prélèvements. Ces derniers sont souvent ponctuels dans le temps et peuvent donc être faits avant ou après un rejet. En plus, la physico-chimie ne permet pas d'en prédire les effets et se révèle toujours incomplète au vu du nombre de polluants présents dans les rejets (KOSMALA, 1998).

3.1. Méthodologie

Elle porte sur le choix et la localisation des stations de prélèvement, la période et la fréquence des prélèvements et enfin le choix et l'analyse des paramètres physico-chimiques.

3.1.1. Choix et localisation des stations de prélèvement

Le choix des stations de prélèvement est principalement basé sur la présence ou non des sources de pollution susceptibles de modifier la qualité des eaux du fleuve Niger. Ce choix permet autant que possible de mettre en évidence l'impact des rejets de la Communauté Urbaine de Niamey (CUN) sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des eaux du fleuve Niger.

Ainsi, un maximum de stations a été mis en place en rive gauche où se trouvent la plupart des sources de pollution. Une seule station est placée en rive droite. Les stations sont réparties le long du fleuve Niger à Niamey comme suit : deux stations témoins ou de référence en amont de tous les points de rejets, huit à l'aval immédiat des points de rejets pour évaluer l'effet direct des polluants et deux en aval lointain des points de rejets (Cf Fig. 2.7, chapitre 2) pour évaluer l'étendue des perturbations occasionnées par les rejets.

En plus des rejets, les caractéristiques physiques des stations de prélèvement (substrats, profondeur, débit, végétation) sont des facteurs importants à considérer (annexe 3.1) dans toute étude qui vise à comparer les stations car elles sont susceptibles d'influencer l'expression finale de l'impact d'une source de pollution sur le milieu récepteur (BAILEY et *al.*, 2005 ; PRYGIEL et *al.*, 2000). L'idéal serait de choisir des stations ayant des caractéristiques autant que possible comparables, ce qui est souvent difficile à réaliser sur le terrain.

Les stations de prélèvement sont réparties sur une distance de 16 920 m de l'amont à l'aval de la ville de Niamey.

3.1.2. Prise et conservation des échantillons d'eau

L'eau est prélevée dans des flacons en polyéthylène de un litre et conservée dans une glacière sur le terrain. Le prélèvement est effectué entre 9 heures et 10 heures pour toutes les stations mais à des jours différents pour minimiser les risques de variabilité journalière et tenir compte autant que possible du moment des émissions des rejets les plus importants. Les échantillons prélevés sont conservés à 4°C sur le terrain.

Les prélèvements sont effectués tous les dix jours en période de crue (janvier-février 2005, novembre-décembre 2005 et janvier 2006), d'étiage (mars, avril et mai 2004-2005) et en saison des pluies (juin et juillet 2004-2005) soit trois prélèvements par mois et par station.

Seule la demande chimique en oxygène est analysée plus tard. Dans ce cas, les échantillons sont conservés à 4°C sans filtration à l'acide sulfurique pur à raison de 2 ml d'acide par litre d'échantillon.

3.1.3. Choix et analyse des paramètres physico-chimiques

Les paramètres étudiés sont les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}), les nutriments (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Ptot),

la température, le pH, la conductivité, l'oxygène dissous et la demande chimique en oxygène.

Les bicarbonates, les chlorures, le calcium et le magnésium sont dosés par la méthode volumétrique avec une précision de $0,1 \text{ mg l}^{-1}$ (RODIER, 1984), les sulfates par spectrophotométrie au sulfaver 4 grâce à un spectrophotomètre HACH DR/2000 (précision $0,9 \text{ mg l}^{-1} \text{ SO}_4^{2-}$), le sodium et le potassium par spectrophotométrie à flamme grâce à un spectrophotomètre à flamme 410 Sherwood (précision $0,01 \text{ mg l}^{-1}$).

L'acide sulfurique 0,1 N est utilisé pour le dosage des bicarbonates et l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) est utilisé pour doser le calcium et le magnésium.

Les méthodes utilisées pour doser les autres éléments sont développées dans le chapitre 2 consacré à la caractérisation des rejets.

3.1.4. Traitement des données

Le traitement statistique des données comporte :

- l'analyse de variance, après vérification de l'homogénéité des variances par le test de Hartley, afin de voir pour chaque paramètre mesuré s'il y a des différences significatives entre les différentes stations de prélèvement. Elle permet également d'étudier la variabilité périodique de la physico-chimie des eaux du fleuve Niger à Niamey. Le test de Scheffé a été utilisé ;
- l'évaluation de l'état de pollution du fleuve à partir du SEQ-Eau ou système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau fondé sur la notion d'altération (ANONYME, 2001). Seize types d'altération sont définis en regroupant les paramètres selon leur nature et leur effet sur l'aptitude de l'eau à la biologie et aux différents usages. Trois types d'altérations sont évalués dans le cadre de ce travail : l'altération liée aux matières organiques et oxydables, aux matières azotées et phosphorées. Pour les matières organiques et oxydables, les paramètres utilisés sont l'oxygène dissous, la demande chimique en oxygène et l'ammonium ; pour les matières azotées, l'ammonium et les nitrites sont utilisés ; et pour les matières phosphorées, les orthophosphates et le phosphore total. Pour chaque type d'altération, un indice est calculé par paramètre et l'indice de qualité ou d'aptitude de chaque altération est l'indice le plus faible parmi les indices de qualité des paramètres qui constituent l'altération observée dans au moins 10 % des prélèvements : c'est la règle du paramètre déclassant

(ANONYME, 2001). Les indices sont définis sur une plage allant de 0 à 100 avec des couleurs correspondantes.

0 à 20 (rouge) = mauvaise ; 20 à 40 (orange) = médiocre ; 40 à 60 (jaune) = moyenne ; 60 à 80 (vert) = bonne et 80 à 100 (bleu) = très bonne.

La détermination des seuils de qualité de l'eau pour les différents usages, fonctions et altérations est basée sur la directive européenne, les normes canadiennes, américaines, de l'organisation mondiale de la santé et sur l'avis des experts ;

- et l'analyse en composantes principales (ACP) afin d'établir une distribution, dans un plan à deux dimensions, de toutes les stations de prélèvement en fonction de l'ensemble des facteurs environnementaux étudiés normalisés et centrés réduits (LEGENDRE et LEGENDRE, 1998). Les données sont normalisées à partir des transformations données en annexe 3.3. L'ACP permettra ainsi une classification des stations en fonction de leur état de pollution ;

Les logiciels utilisés sont : Statistica version 5.1 pour les analyses de variance, R et ADE-4 package (Analyse des Données Ecologiques) version 2.3.1 (IHAKA et GENTLEMAN, 1996 ; THIOULOUSE et *al.*, 1997) pour les analyses en composantes principales.

3.2. Résultats

Les résultats expriment la variabilité de l'amont à l'aval des rejets de chaque paramètre physico-chimique (Annexe 3.2) et la classification des stations en fonction de leur état de pollution à partir du SEQ-Eau et de l'analyse en composantes principales.

3.2.1. Analyse de variance

L'analyse de variance a permis de mettre en évidence, pour chaque paramètre, les stations qui sont significativement différentes les unes des autres de même que la variabilité périodique : crue (novembre, décembre, janvier et février), étiage (mars, avril et mai) et saison des pluies (juin et juillet).

Sur les graphiques, l'axe des abscisses exprime directement la distance entre les stations d'une part et entre les points de rejets d'autre part. L'axe des ordonnées à gauche représente les mesures dans le fleuve et celui à droite les mesures dans les rejets. Les deux traits parallèles et obliques représentent un raccourcissement de la distance de 10 000 m.

3.2.1.1. Minéralisation

Elle peut s'établir à partir de la conductivité, du pH et des diagrammes ioniques élaborés à partir des concentrations ioniques des éléments majeurs.

3.2.1.1.1. Conductivité

Elle est fort variable en fonction du régime du fleuve. Cette variation est beaucoup plus marquée dans les zones de rejets.

La conductivité le long du fleuve est beaucoup plus élevée en saison des pluies et plus faible en période de crue (Fig. 3.1).

Pendant la crue, les différences de conductivité entre les stations ne sont pas significatives tandis qu'elles sont très significativement différentes ($P < 0,01$) en étiage et en saison des pluies entre les stations situées à l'aval des rejets de la brasserie du Niger (BRA), de l'entreprise nigérienne de textiles (ENI), du grand hôtel (GH) connu pour les rejets domestiques du quartier et les autres stations. En étiage, le facteur de dilution est très faible comparé à la période de crue. Pendant la saison des pluies dont le début correspond à l'étiage du fleuve, les écoulements pluviaux charrient en plus les déchets de toute sorte qui colmatent les collecteurs d'eaux usées et ramènent tout au fleuve ; ceci s'accompagne d'une augmentation de la conductivité.

3.2.1.1.2. pH

Il est compris entre 6 et 7 pendant la crue du fleuve et pour toutes les stations sans différence significative entre les stations. En saison des pluies et à l'étiage, il est respectivement au tour de 7 et légèrement supérieur ou égal à 7 pour la majorité des stations (Fig. 3.2).

Une seule station (ENI) a un pH supérieur à 8 pendant ces deux périodes ; elle est donc très significativement différente ($P < 0,01$) des autres stations. Cette augmentation de pH est liée à la présence de soude caustique dans les rejets déversés en amont de cette station par l'Entreprise Nigérienne de Textile (ENITEX). A l'aval de l'abattoir, le pH est légèrement plus faible ; ceci s'explique par la présence dans les rejets de l'office du lait du Niger (pH moyen 4,90) d'acide nitrique.

Naturellement, les eaux du fleuve Niger à Niamey ne subissent pas de variation significative de pH.

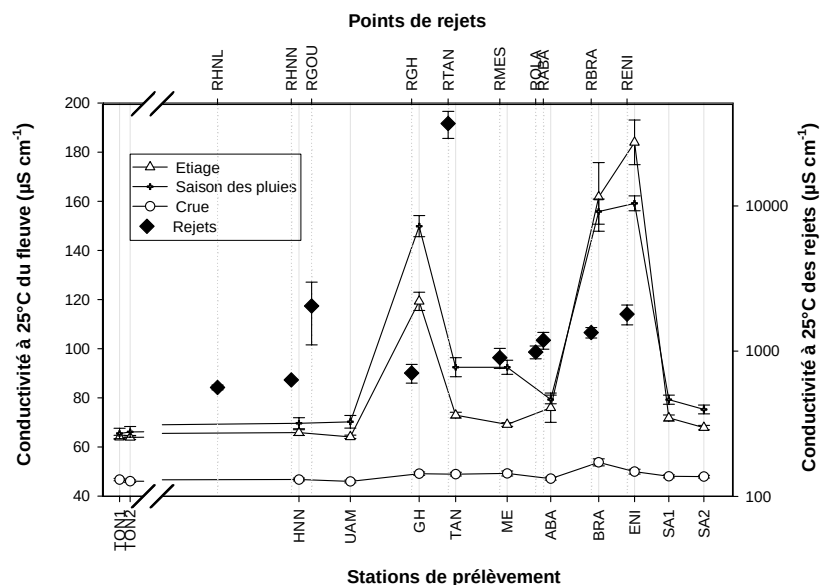


Figure 3.1 : Variation de la conductivité (en $\mu\text{S cm}^{-1}$) à 25°C des eaux du fleuve Niger à Niamey à différentes stations de prélèvement et sous différents régimes hydrologiques de mars 2004 à janvier 2006 (moyenne $\pm$ écartype avec $N = 12$ en saison des pluies, $N = 15$ en étiage et crue).

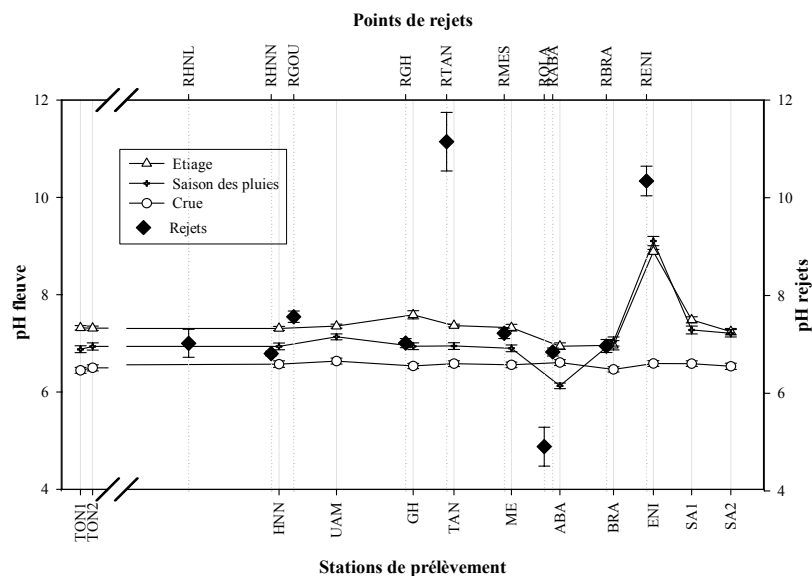


Figure 3.2 : Variation du pH des eaux du fleuve Niger à Niamey à différentes stations de prélèvement et sous différents régimes hydrologiques de mars 2004 à janvier 2006 (moyenne $\pm$ écartype avec $N = 12$ en saison des pluies, $N = 15$ en étiage et crue).

3.2.1.1.3. Diagrammes ioniques

Les diagrammes ioniques (KUFFERATH, 1951 ; FABRI et LECLERCQ, 1977) permettent d'apprécier l'importance de la minéralisation des eaux du fleuve Niger à différents régimes hydrologiques (étiage, saison des pluies, crue) et de déduire également le faciès chimique. L'analyse de ces diagrammes montre que la minéralisation évolue dans le même sens que la conductivité.

Ainsi, la minéralisation la plus importante correspond à la saison des pluies et la plus faible à la période de crue. En plus, les stations en aval immédiat des points de rejets sont plus minéralisées que les stations en amont et en aval loin des points de rejets (Fig. 3.3, 3.4 et 3.5). Les rejets constituent sans doute un apport supplémentaire d'éléments minéraux. Néanmoins, le faciès chimique reste bicarbonaté sodique à toutes les périodes et pour l'ensemble des stations. Ce faciès reflète la géologie du milieu constitué essentiellement de granite, de schistes et de grès du continental terminal (GUERO, 1987) ; les roches basiques sont quasiment absentes.

3.2.1.2. Température

Elle connaît une variation saisonnière qui est significativement différente entre la période de crue qui correspond à la saison la plus fraîche de l'année et les autres périodes (étiage et saison des pluies). Il n'y a pas de différence de température significative entre les stations pour une période donnée.

La température de l'eau du fleuve Niger ne subit pas d'influence des rejets thermiques dont la température se situe au tour de 30°C tout comme dans le milieu récepteur (Fig. 3.6).

3.2.1.3. Matières en suspension (MES)

La différence de concentration en matières en suspension est très marquée entre les différentes périodes d'échantillonnage ($P < 0,01$).

Les MES augmentent en saison des pluies avec l'arrivée des écoulements pluviaux dans le fleuve tandis qu'en période de crue, il y a une forte dilution des concentrations contrairement à l'étiage (Fig. 3.7). Ainsi, en saison des pluies et en période de crue, il n'y a pas de différence significative entre les stations. En étiage par contre, les stations en aval de l'abattoir (ABA) et de la brasserie du Niger (BRA) sont très significativement différentes ($P < 0,01$) des autres stations en dehors de celle en aval de l'entreprise nigérienne de textile (ENI). La différence avec ABA peut s'expliquer par la présence dans les rejets

de contenus stomacaux qui constitue un dépôt important à la station et avec BRA par les résidus de malte et de maïs utilisés comme matière première par la Brasserie du Niger.

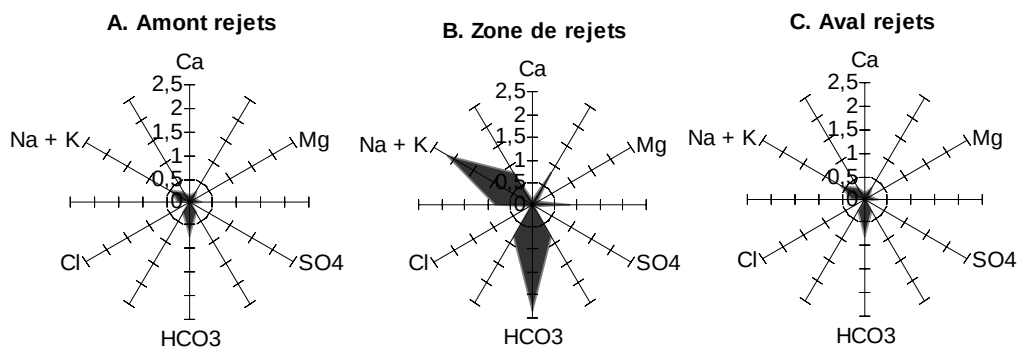


Figure 3.3 : Diagrammes ioniques en saison des pluies des eaux du fleuve Niger à Niamey de l'amont à l'aval des points de rejets de 2003 à 2004 (még l⁻¹).

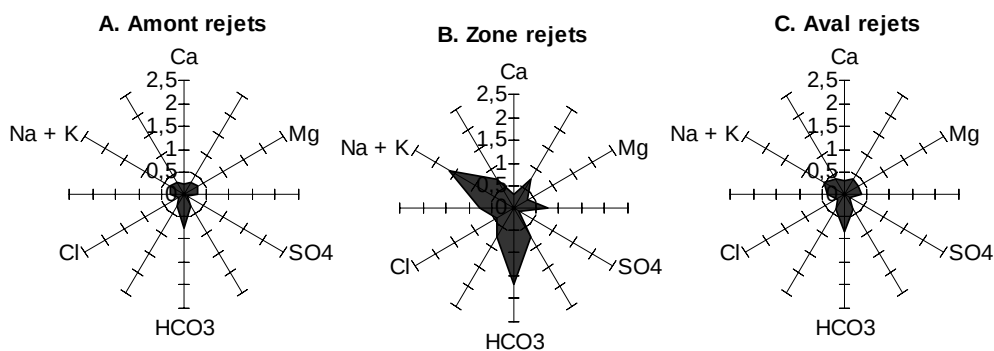


Figure 3.4 : Diagrammes ioniques en étiage des eaux du fleuve Niger à Niamey de l'amont à l'aval des points de rejets de 2003 à 2004 (még l⁻¹).

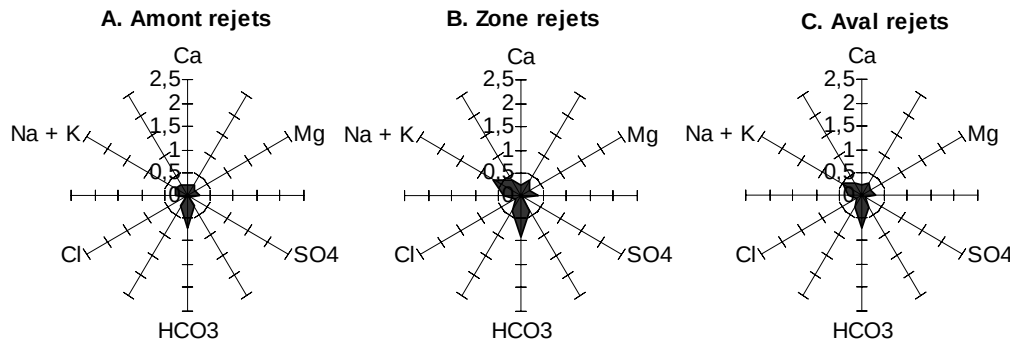


Figure 3.5 : Diagrammes ioniques en période de crue des eaux du fleuve Niger à Niamey de l'amont à l'aval des points de rejets de 2003 à 2004 (még l⁻¹).

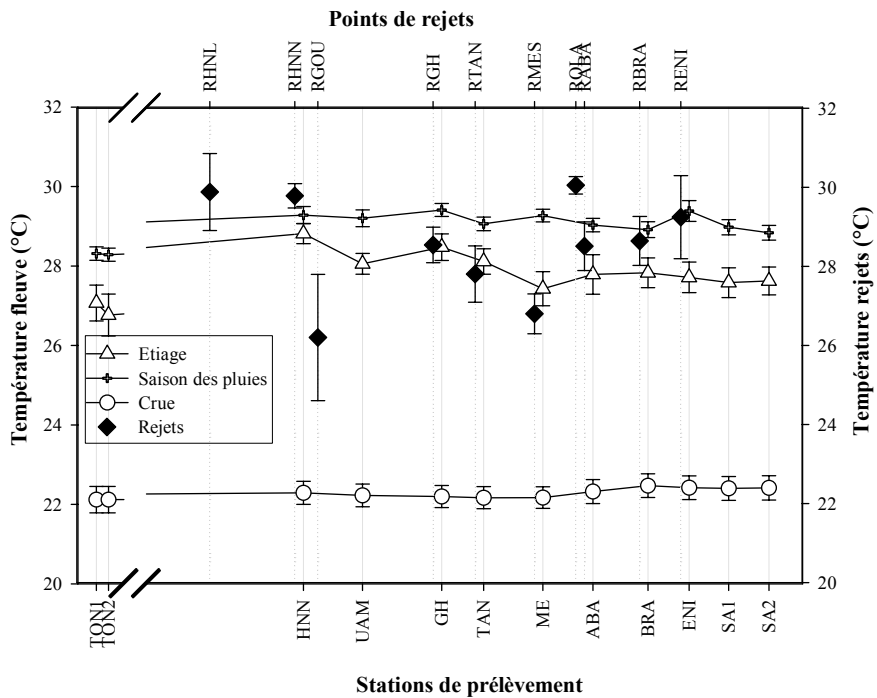


Figure 3.6 : Variation de la température (en °C) des eaux du fleuve Niger à Niamey à différentes stations de prélèvement et sous différents régimes hydrologiques de mars 2004 à janvier 2006 (moyenne $\pm$ écartype avec N = 12 en saison des pluies, N = 15 en étiage et crue).

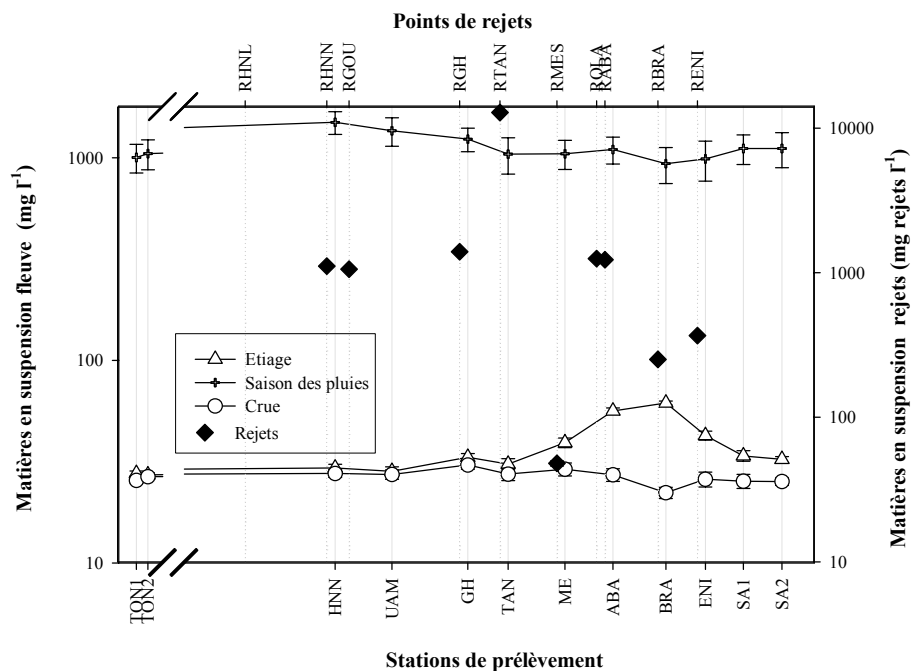


Figure 3.7 : Variation des matières en suspension (en mg l^{-1}) des eaux du fleuve Niger à Niamey à différentes stations de prélèvement et sous différents régimes hydrologiques de janvier 2005 à janvier 2006 (moyenne $\pm$ écartype avec $N = 9$ en étiage et crue, $N = 6$ en saison des pluies).

3.2.1.4. Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène est plus faible en période de crue et plus élevée en saison des pluies avec respectivement $6,70 \text{ mg l}^{-1}$ et 91 mg l^{-1} en moyenne.

La moyenne en étiage est de $33,80 \text{ mg l}^{-1}$ (Fig.3.8). La différence de concentration entre les stations est beaucoup plus importante en saison des pluies où les stations en aval des points de rejets sont significativement différentes ($P < 0,05$) entre elles.

Elles sont aussi significativement différentes des stations de référence et des stations en aval loin des rejets. Ces différences sont liées aux apports pluviaux qui s'enrichissent en matières organiques répandues dans les champs de cultures qu'ils drainent et dans les collecteurs d'eaux usées qui reçoivent toutes sortes de déchets.

En étiage et pendant la crue, ce sont les stations situées à l'aval des rejets de l'abattoir (ABA) et des rejets de la brasserie du Niger (BRA) qui montrent des différences significatives ($P < 0,05$) avec les stations de référence et les stations en aval loin des rejets. Ces stations sont en aval des points de rejets dont la DCO est la plus élevée (5 878 mg l^{-1} et 1 179 mg l^{-1} respectivement).

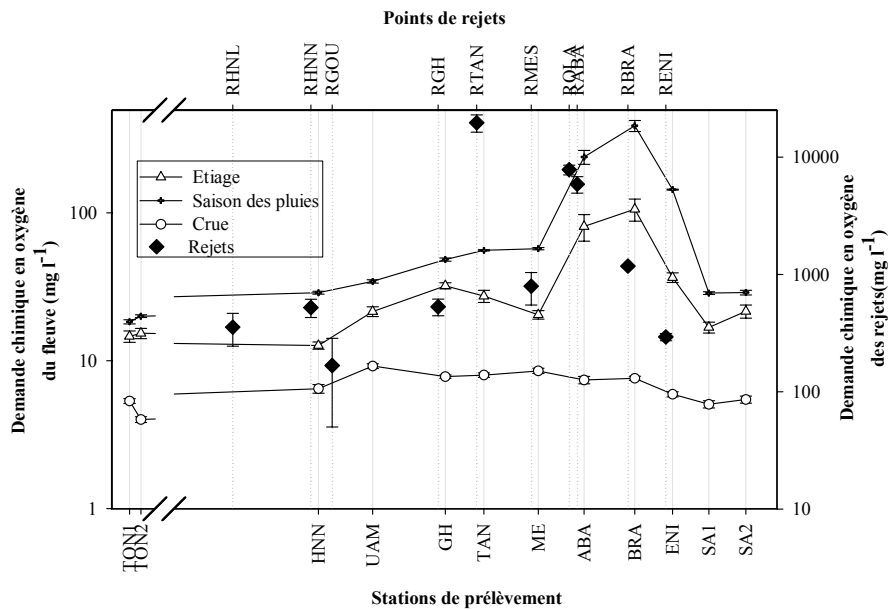


Figure 3.8 : Demande chimique en oxygène (en mg l^{-1}) des eaux du fleuve Niger de l'amont à l'aval des points de rejets et sous différents régimes hydrologiques de mars 2004 à janvier 2006 (moyenne $\pm$ écartype avec $N = 12$ en saison des pluies, $N = 15$ en étiage et crue).

3.2.1.5. Oxygène dissous

La concentration en oxygène dissous des eaux du fleuve Niger est plus faible en saison des pluies avec une moyenne de $5,40 \text{ mg l}^{-1}$. Pendant la crue et l'étiage, elle est respectivement égale à $7,20 \text{ mg l}^{-1}$ et $6,80 \text{ mg l}^{-1}$ (Fig. 3.9).

En saison des pluies, les stations GH, TAN, ABA, BRA et ENI sont significativement différentes ($P < 0,05$) des stations de références (TON 1 et TON 2). L'influence directe des écoulements pluviaux chargés de matières en suspension sur ces stations contribue à leur déficit en oxygène dissous. En étiage, les stations BRA et ENI sont

significativement différentes de TON 1 et TON 2 tandis qu'en période de crue seule la station BRA est très significativement différente ($P < 0,01$) de toutes les autres stations.

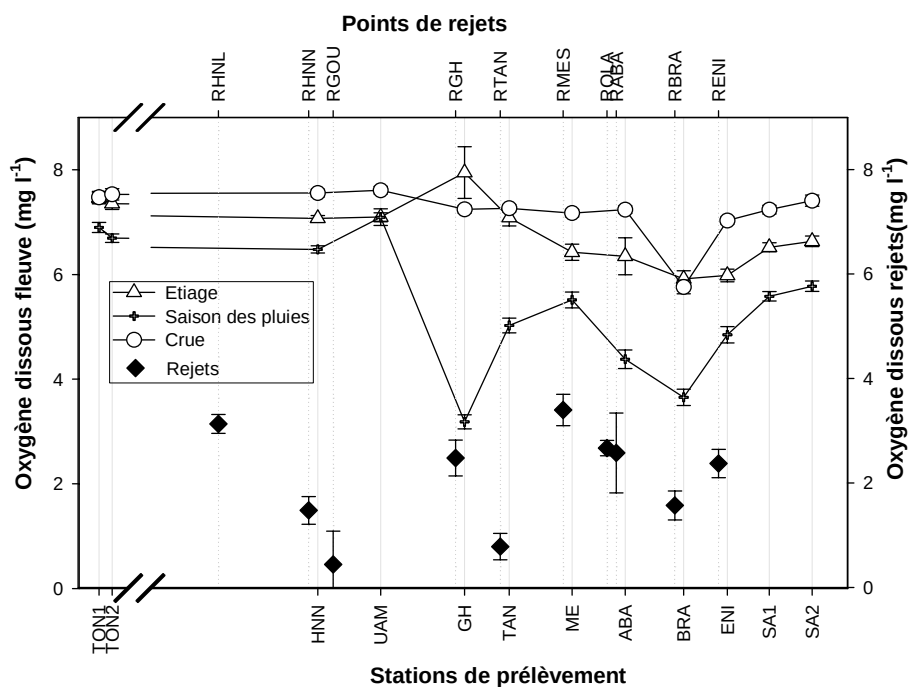


Figure 3.9 : Concentration en oxygène dissous (en mg l^{-1}) des eaux du fleuve Niger de l'amont à l'aval des points de rejets et sous différents régimes hydrologiques de mars 2004 à janvier 2006 (moyenne $\pm$ écartype avec $N = 12$ en saison des pluies, $N = 15$ en étiage et crue).

3.2.1.6. Saturation en oxygène

Les eaux sont moins saturées en oxygène pendant la saison des pluies avec un minimum de 38 % et un maximum de 82,60 % respectivement à BRA et TON 1. A l'étiage, période la plus saturée, un maximum de 99,60 % a été enregistré à GH et un minimum de 79,60 % à BRA (Fig. 3.10).

Les différences entre les périodes d'échantillonnage sont très significatives ($P < 0,01$). A l'étiage, seules les stations BRA et GH sont significativement différentes ($P < 0,05$). En saison des pluies, la station ME est significativement différente ($P < 0,05$) de TON 1, TON

2, HNN et UAM d'une part et d'autre part, BRA est significativement différente de TON 1, TON 2, HNN, UAM, GH, TAN et SA 2. Pendant la crue par contre, seule la station BRA est significativement différente de toutes les autres stations.

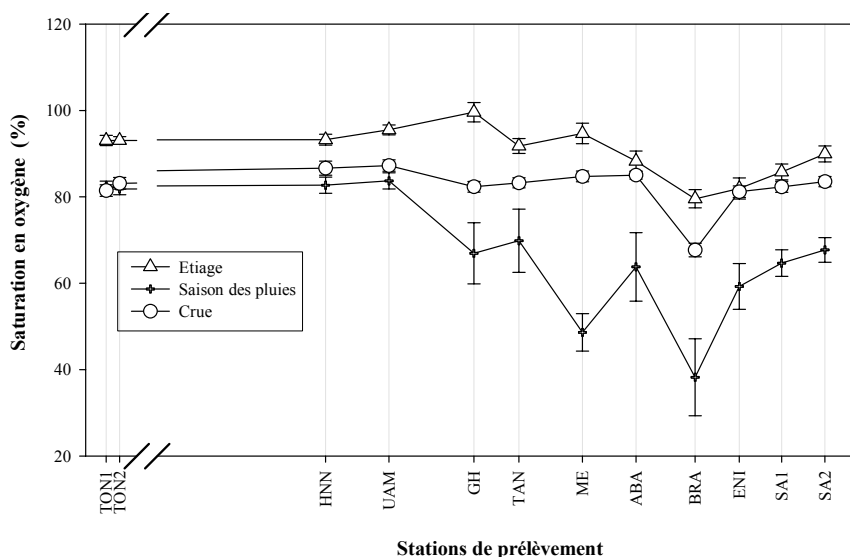


Figure 3.10 : Saturation en oxygène des eaux du fleuve Niger de l'amont à l'aval des points de rejets et sous différents régimes hydrologiques de janvier 2005 à janvier 2006 (moyenne $\pm$ écartype avec $N = 9$ en étiage, $N = 6$ en crue, $N = 3$ en saison des pluies).

3.2.1.7. Nutriments

Les nutriments suivis lors de cette étude sont : ammonium, nitrates, nitrites, orthophosphates et phosphore total.

3.2.1.7.1. Ammonium

La concentration en ammonium est en moyenne plus élevée en saison des pluies ($1,70 \text{ mg N-NH}_4 \text{ l}^{-1}$). Elle est de $0,40 \text{ mg N-NH}_4 \text{ l}^{-1}$ en étiage et $0,20 \text{ mg N-NH}_4 \text{ l}^{-1}$ en période de crue (Fig. 3.11).

Les stations les plus significativement différentes des stations de référence sont ABA, BRA, GH, ME en saison des pluies, HNN, GH, TAN, ME, ABA en étiage et GH, TAN, ME pendant la crue. Toutes ces stations sont placées en aval des points de rejets les plus

déficitaires en oxygène dissous et dont la DCO est supérieure à 500 mg l⁻¹.

3.2.1.7.2. Nitrates

La concentration maximale en nitrates des eaux du fleuve Niger enregistrée est de 0,50 mg l⁻¹ N-NO₃ à l'étiage à la station de l'hôpital national de Niamey (HNN), et la plus faible concentration 0,20 mg l⁻¹ N-NO₃ pendant la crue aux stations SA 1, ENI, UAM et en saison des pluies à ME (Fig. 3.12).

Il n'y a pas de différence significative entre les stations. Mais, les concentrations en étiage sont très significativement différentes ($P < 0,01$) des concentrations en saison des pluies et pendant la crue. Les écoulements pluviaux qui se jettent dans le fleuve s'accompagnent d'une baisse de la concentration en oxygène dissous.

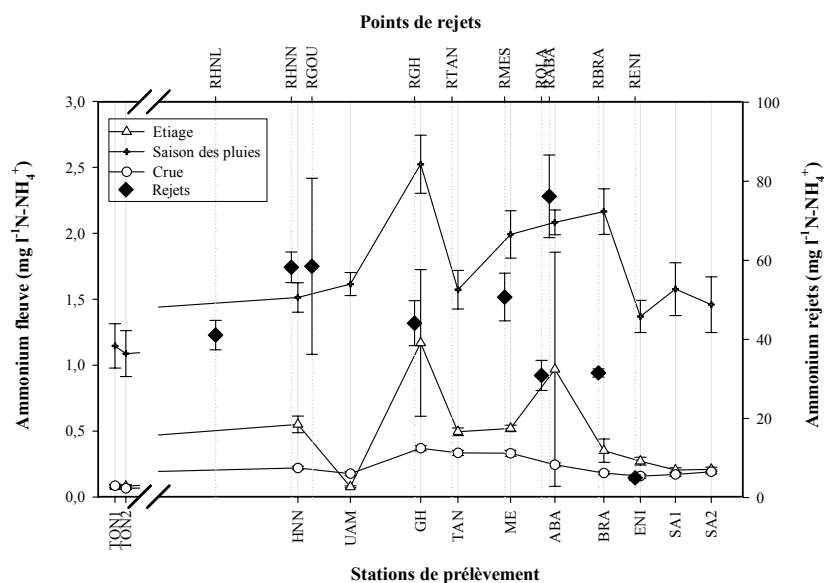


Figure 3.11 : Concentration en ammonium (en mg l⁻¹ N-NH₄) des eaux du fleuve Niger de l'amont à l'aval des points de rejets et sous différents régimes hydrologiques de mars 2004 à janvier 2006 (moyenne ± écartype avec N = 12 en saison des pluies, N = 15 en étiage et crue).

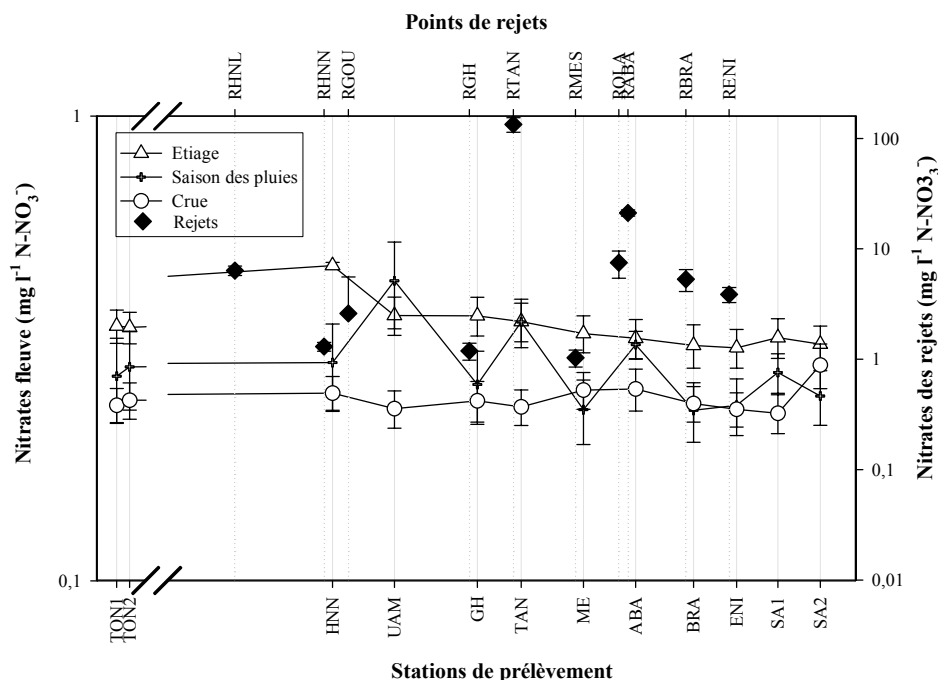


Figure 3.12 : Concentration en nitrates ($\text{mg l}^{-1} \text{N-NO}_3$) des eaux du fleuve Niger de l'amont à l'aval des points de rejets et sous différents régimes hydrologiques de mars 2004 à janvier 2006 (moyenne $\pm$ écartype avec $N = 12$ en saison des pluies, $N = 15$ en étiage et crue).

3.2.1.7.3. Nitrites

Les concentrations en nitrites et en nitrates évoluent en sens inverse. Les concentrations en nitrites sont plus élevées en saison des pluies avec un maximum de $0,01 \text{ mg l}^{-1} \text{N-NO}_2$ à TAN et plus faibles en étiage avec un minimum de $0 \text{ mg l}^{-1} \text{N-NO}_2$ à HNN (Fig. 3.13).

En période de crue, les concentrations en nitrites ne sont pas significativement différentes. Elles sont significativement différentes ($P < 0,05$) entre GH, TAN et les autres stations en saison des pluies puis entre HNN, GH, TAN et BRA en étiage.

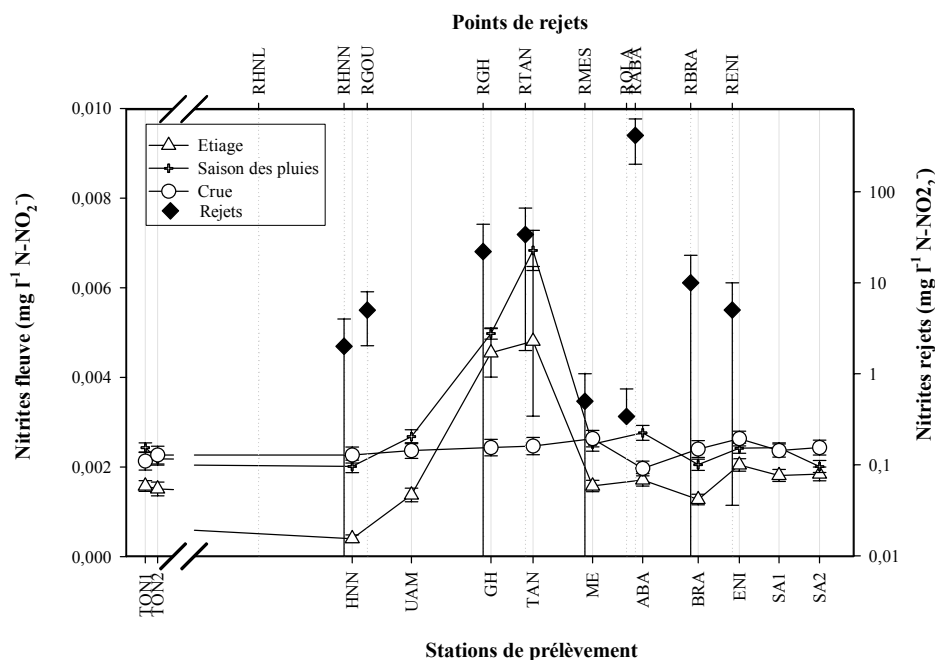


Figure 3.13 : Concentration en nitrites ($\text{mg l}^{-1} \text{N-NO}_2$) des eaux du fleuve Niger de l'amont à l'aval des points de rejets et sous différents régimes hydrologiques de mars 2004 à janvier 2006 (moyenne $\pm$ écartype avec $N = 12$ en saison des pluies, $N = 15$ en étiage et crue).

3.2.1.7.4. Orthophosphates

Les teneurs en orthophosphates présentent les valeurs les plus élevées en saison des pluies avec un maximum de $0,4 \text{ mg l}^{-1}$ à ME. Les plus faibles concentrations sont enregistrées en période de crue avec un minimum de $0,07 \text{ mg l}^{-1}$ à TON 1 (Fig. 3.14).

Les teneurs en saison des pluies sont très significativement différentes ($P < 0,01$) des teneurs à l'étiage et en période de crue. A l'étiage, les stations ABA, ENI, GH et HNN sont significativement différentes ($P < 0,05$) des stations de référence qui sont aussi significativement différentes des stations SA 1 et SA 2. En saison des pluies, les stations BRA, GH et ME sont significativement différentes de toutes les stations. Pendant la crue, les concentrations en PO_4^{3-} sont significativement différentes entre les stations de référence (TON 1 et TON 2) et les stations UAM, HNN, GH, TAN et ME ($P < 0,05$).

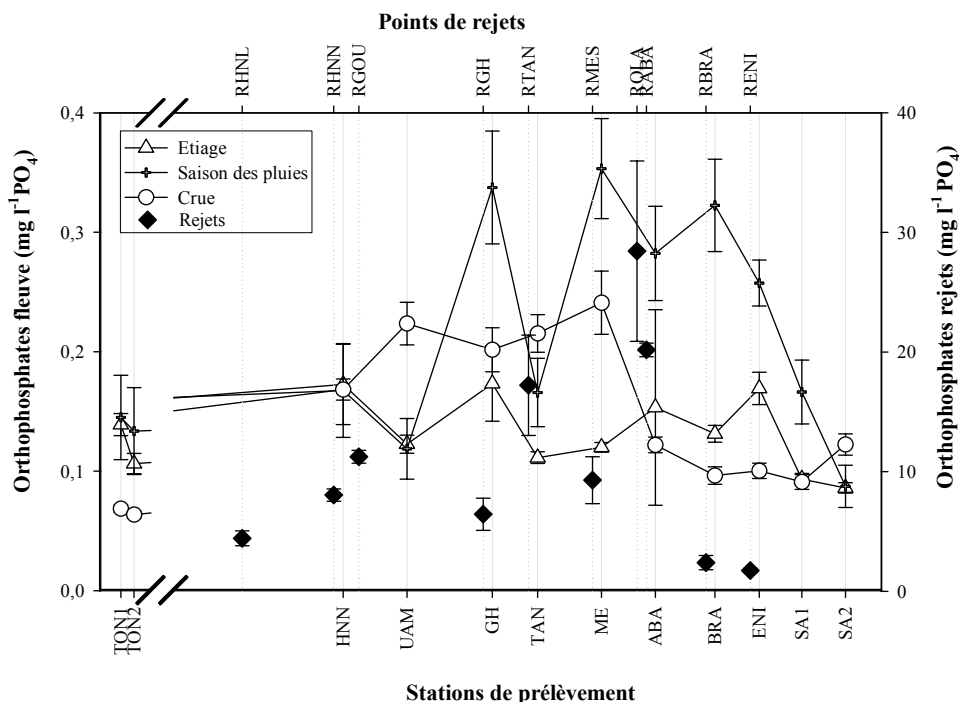


Figure 3.14 : Concentration en orthophosphates (en mg l^{-1}) des eaux du fleuve Niger de l'amont à l'aval des points de rejets et sous différents régimes hydrologiques de mars 2004 à janvier 2006 (moyenne $\pm$ écartype avec $N = 12$ en saison des pluies, $N = 15$ en étiage et crue).

3.2.1.7.5. Phosphore total

Les concentrations en phosphore total sont très significativement différentes ($P < 0,01$) pour les trois périodes d'échantillonnage (étiage, saison des pluies, crue). Elles sont plus importantes en saison des pluies avec un maximum de $2,10 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$ à ABA et plus faible en période de crue avec un minimum de $0,05 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$ à TON 1, TON 2, SA 1, SA 2 et ENI (Fig. 3.15).

En étiage, les stations GH et ABA sont significativement différentes ($p < 0,05$) de TON 1 et TON 2. Elles sont également significativement différentes de ces stations et ENI en saison des pluies. En période de crue, le nombre de stations significativement différentes est plus important. Ainsi, les stations HNN, UAM, GH, TAN et ME sont

différentes de TON 1 et TON 2 d'une part et d'autre part, les stations TAN et ME sont différentes de ENI, SA 1 et SA 2.

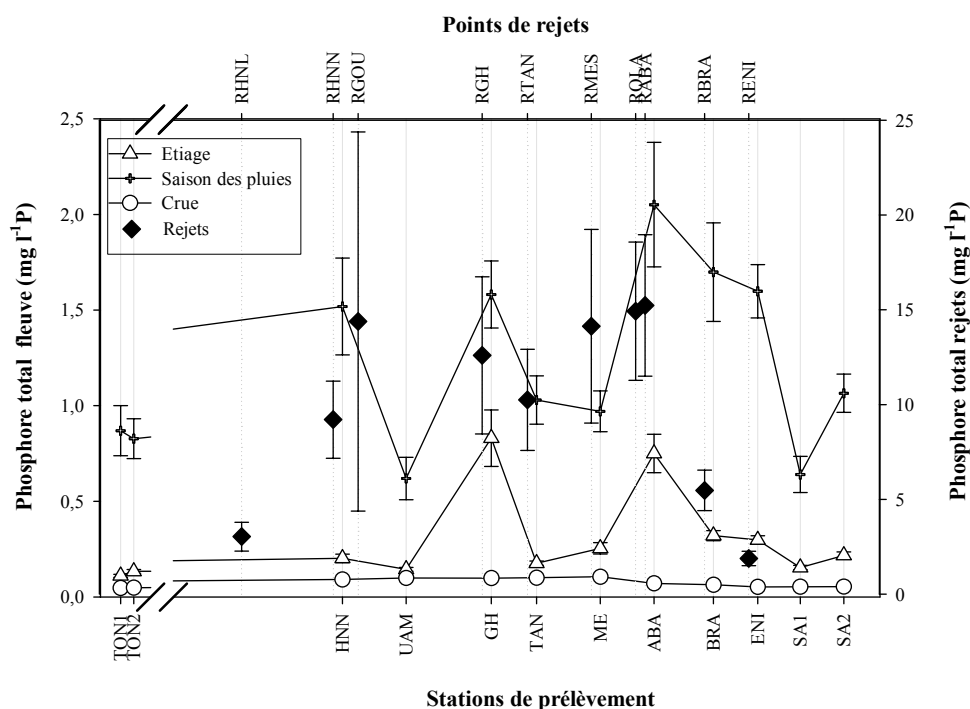


Figure 3.15 : Concentration en phosphore total en ($\text{mg l}^{-1} \text{P}$) des eaux du fleuve Niger de l'amont à l'aval des points de rejets et sous différents régimes hydrologiques de mars 2004 à janvier 2006 (moyenne $\pm$ écartype avec $N = 12$ en saison des pluies, $N = 15$ en étiage et crue).

3.2.2. Etat de la pollution des eaux du fleuve Niger à Niamey

Une évaluation qualitative de l'état de pollution des eaux du fleuve Niger à Niamey basée sur le SEQ-Eau est présentée sous forme d'indice de qualité ou d'aptitude biologique. Elle est établie pour chaque altération sur un groupe de paramètres impératifs et donne une distribution des stations échantillonnées dans des classes de qualité prédéfinies.

3.2.2.1. Indice et classe de qualité des eaux

La qualité d'un cours d'eau est une résultante de toutes les altérations qu'il subit. Elle est donc l'expression conjuguée de ses caractéristiques physico-chimiques. Trois types d'altération de la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey liées aux matières organiques et oxydables (MOOX), aux matières azotées (AZOT) et aux matières phosphorées (PHOS) sont évalués et représentés à la figure 3.16 ci-dessous.

L'analyse de la figure 3.16 montre une variation de l'indice et de la classe de qualité en fonction du régime du fleuve.

L'évaluation de la qualité des eaux aux stations de prélèvements en fonction des matières azotées en étiage confère une bonne qualité aux stations TON 1, TON 2, UAM, SA 1 et SA2, moyenne à HNN et ENI, médiocre à BRA et mauvaise à GH et ABA.

En saison des pluies, la qualité des eaux pour les matières azotées est médiocre à TON1, TON 2, HNN, UAM, TAN, ME, BRA, ENI, SA 1 et SA 2 et mauvaise à GH et ABA. En période de crue, elle est bonne à TON 1, TON 2, ABA, BRA, ENI, SA 1 et SA 2 et moyenne à HNN, UAM, ME, GH et TAN.

Le paramètre déclassant pour ce type d'altération est l'ammonium quelque soit le régime du fleuve.

L'évaluation de la qualité des eaux en fonction de l'altération liée aux matières organiques et oxydables en étiage attribue la qualité moyenne aux eaux du fleuve le long des berges aux stations TON 1, TON 2, HNN, ME et SA 1, médiocre à UAM, TAN, ENI et SA 2 et mauvaise à GH, ABA et BRA. La demande chimique en oxygène (DCO) est un paramètre déclassant pour la quasi-totalité des stations à l'exception de HNN où l'ammonium constitue l'élément chimique déclassant. En plus de la DCO, l'ammonium constitue un paramètre déclassant à ABA et l'oxygène dissous à SA 1.

En saison des pluies, la qualité des eaux est moyenne à TON 1, TON 2 et HNN, médiocre à UAM, TAN, SA 1 et SA 2 et mauvaise à GH, ME, ABA, BRA et ENI.

Les paramètres déclassant sont l'oxygène dissous et la DCO à ABA et BRA, la DCO à ENI, ME et UAM, l'oxygène dissous à GH et TAN, l'ammonium et la DCO à HNN, l'ammonium et l'oxygène dissous à SA 1, SA 2 et TON 2, l'ammonium à TON 1.

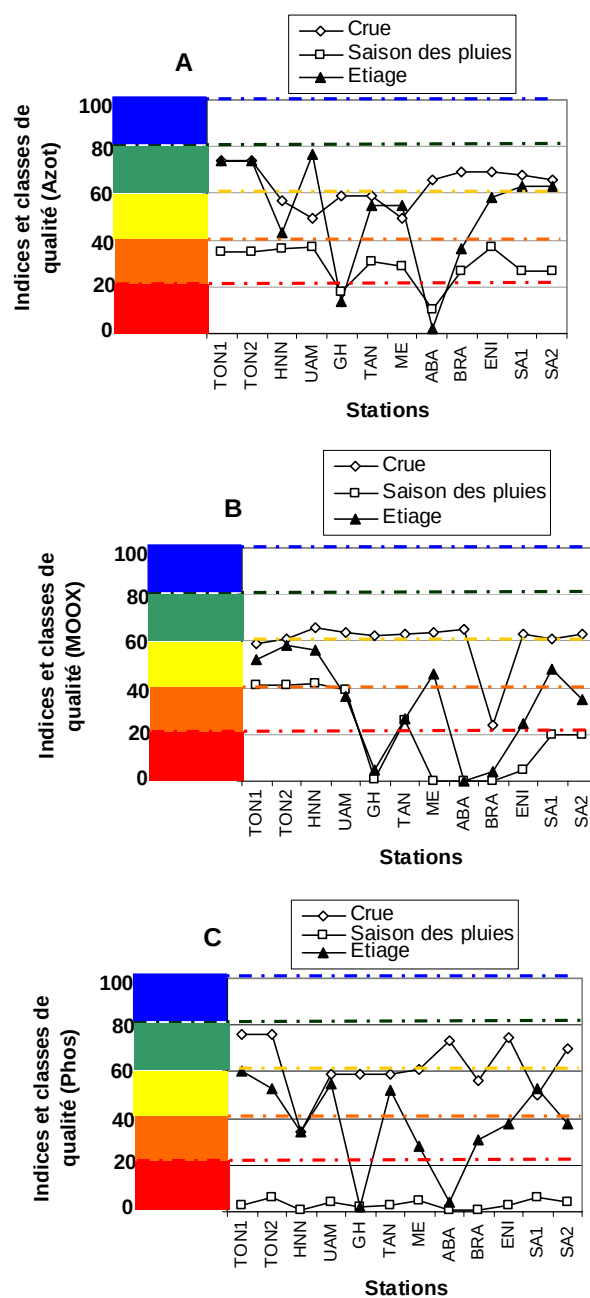


Figure 3.16: Evolution de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey des indices et classes de qualité liés aux matières azotées (A), aux matières organiques et oxydables (B) et aux matières phosphorées (C) des eaux du fleuve Niger à Niamey en étiage, en saison des pluies et en période de crue.

En période de crue, la qualité des eaux est bonne à TON1, TON 2, HNN, UAM, GH, TAN, ME, ABA, ENI, SA 1 et SA 2 et médiocre à BRA. Le paramètre déclassant est l'oxygène dissous à TON1, TON 2, HNN, ABA, BRA, ENI, SA 1 et SA 2, l'ammonium et l'oxygène dissous à GH, ME, TAN et UAM.

La qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey relative aux matières phosphorées est moyenne en étiage à TON 1, TON 2, UAM, TAN et SA 1, médiocre à HNN, ME, BRA, ENI et SA 2 et mauvaise à GH et ABA. Le phosphore total constitue un élément déclassant pour toutes les stations. En plus, les orthophosphates sont déclassant à TON 1. En saison des pluies, la qualité des eaux est mauvaise à toutes les stations. Le paramètre déclassant est le phosphore total pour la majorité des stations à l'exception de ABA où les orthophosphates sont aussi déclassant.

En période de crue, elle est bonne à TON 1, TON 2, ME, ABA, ENI et SA 2, moyenne à UAM, GH, TAN, BRA, SA 1 et médiocre à HNN. Les paramètres déclassant sont le phosphore total à TON 2, HNN, UAM, GH, BRA et SA 1, le phosphore total et les orthophosphates à ABA, ENI, ME, SA 2, TON 1 et les orthophosphates à TAN.

3.2.2.2. Aptitude biologique

L'aptitude biologique exprime l'état d'un cours d'eau à maintenir les équilibres biologiques en fonction des altérations auxquelles il est soumis. Elle est donc fonction de la qualité de l'eau et est subdivisée en cinq classes. L'indice et la classe de qualité biologique varient également en fonction du régime hydrologique du fleuve (Fig. 3.17). Dans l'ensemble, l'indice et la classe de qualité biologique sont meilleurs en période de crue et plus mauvais en saison des pluies (Fig. 3.17). Ils évoluent dans le même sens que l'indice et la classe de qualité des eaux.

En étiage, aux stations TON 1, TON 2, UAM, SA 1 et SA 2, la classe biologique définie à partir des matières azotées (Fig. 3.17A) montre la potentialité de l'eau à provoquer la disparition de certains taxons polluo-sensibles tout en gardant une diversité satisfaisante (couleur verte). Aux stations HNN, TAN, ME et ENI la disparition des taxons polluo-sensibles devient plus importante tout en maintenant une diversité satisfaisante (couleur jaune). A la station BRA, la classe biologique relative aux matières azotées indique une réduction importante du nombre de taxons polluo-sensibles suivie d'une réduction de la diversité (couleur orange). Aux stations GH et ABA,

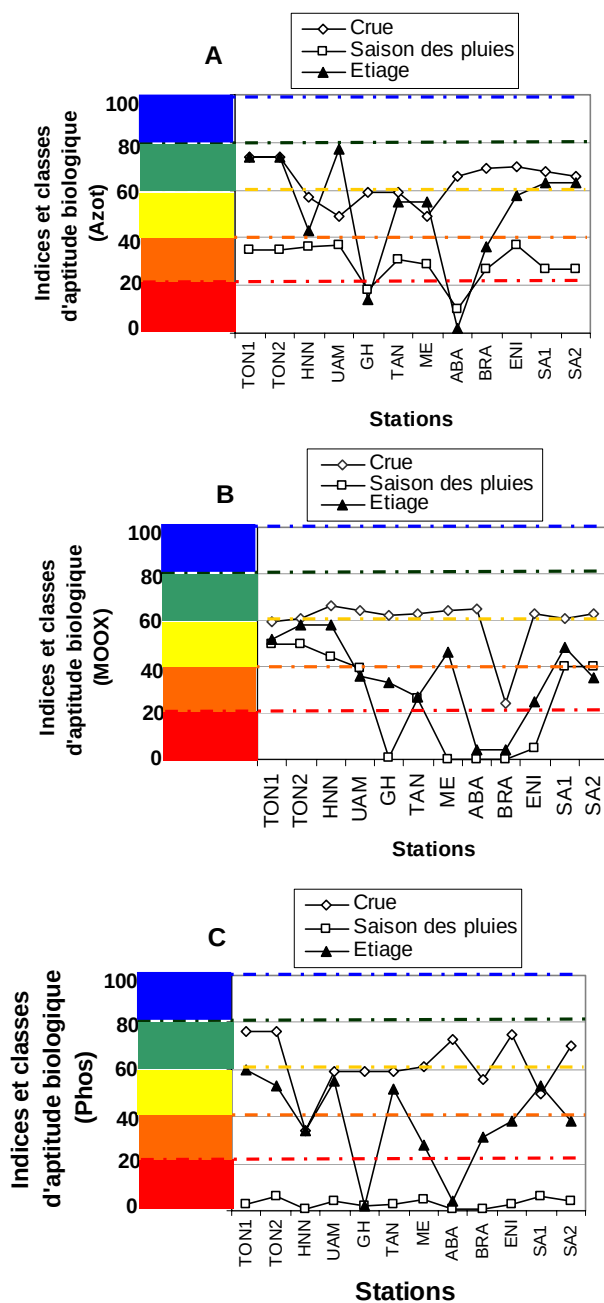


Figure 3.17: Evolution de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey des indices et classes d'aptitude biologique liés aux matières azotées (A), aux matières organiques et oxydables (B) et aux matières phosphorées (C) des eaux du fleuve Niger à Niamey en étiage, en saison des pluies et en période de crue.

elle montre une réduction importante de taxons polluo-sensibles et une diversité très faible (couleur rouge).

La comparaison des stations en fonction de l'indice et de la classe d'aptitude biologique basé sur les matières organiques et oxydables (Fig. 3.17B) classe les stations TON 1, TON 2, HNN, ME et SA 1 dans le jaune, les stations UAM, GH, TAN, ENI et SA 2 dans l'orange, les stations ABA et BRA dans le rouge.

La classification basée sur les matières phosphorées (Fig. 3.17C) regroupe TON1, TON 2, UAM, TAN et SA 1 dans la plage jaune, HNN, ME, BRA, ENI et SA 2 dans la plage orange, GH et ABA dans la plage rouge.

En saison des pluies, toutes les stations se situent en dessous du vert pour les trois types d'altération. Elles se retrouvent dans le rouge pour l'altération liée aux matières phosphorées. Pour les matières azotées, TON 1, TON 2, HNN, UAM, TAN, ME, BRA, ENI, SA 1 et SA 2 sont classées dans l'orange, GH et ABA dans le rouge. En fonction des matières organiques et oxydables les stations se regroupent en trois classes, la classe jaune pour TON 1, TON 2 et HNN, la classe orange pour UAM, TAN, SA 1 et SA 2, la classe rouge pour GH, ME, ABA, BRA et ENI.

En période de crue, la classe rouge disparaît totalement. Les stations se répartissent dans les plages orange à verte. Pour les matières azotées, deux classes sont définies : le vert dans lequel se situent les stations TON 1, TON 2, ABA, BRA, ENI, SA 1 et SA 2 puis le jaune constitué de HNN, UAM, ME, GH et TAN. Pour les matières organiques et oxydables, la majorité des stations se classent dans le vert sauf TON 1 (jaune) et BRA (orange). La classification en fonction des matières phosphorées donne trois classes : la classe verte composée des stations TON1, TON 2, ME, ABA, ENI et SA 2, la classe jaune composée de UAM, GH, TAN, BRA et SA 1 et la classe orange composée de HNN.

Les paramètres déclassant sont identiques à ceux liés à l'indice et la classe de qualité.

3.2.3. Analyses en composantes principales

Contrairement à l'analyse de variance, l'analyse en composantes principales est une analyse multifactorielle beaucoup utilisée dans le traitement des données écologiques. Elle permet une expression

simplifiée de l'information contenue dans un tableau à plusieurs variables à partir d'un nombre réduit de variables.

L'analyse en composantes principales a été réalisée dans le but d'établir une classification des stations de prélèvement en fonction de leur qualité physico-chimique. Toutes les données ont été d'abord normalisées puis ensuite centrées réduites, le but de la normalisation étant de transformer la distribution des données brutes en distribution normale. Le type de transformation utilisé est donné en annexe 3.3. Les données transformées sont centrées réduites pour standardiser les différents facteurs environnementaux qui ne sont pas exprimés dans le même ordre de grandeur.

Les matières en suspension et la saturation en oxygène n'ont pas été intégrées dans cette analyse parce que nous ne disposons que des données d'une seule année.

Une première analyse effectuée sur l'ensemble des données collectées de mars 2004 à janvier 2006 exprime le maximum de variabilité (58 %) sur les deux premières composantes principales c'est-à-dire 41 % sur l'axe 1 et 17 % sur l'axe 2. Les résultats sont montrés aux figures 3.18, 3.19, 3.20 et 3.21. L'axe 1 est fortement corrélé à la température ($r = 0,80$), la conductivité ($r = 0,85$), la demande chimique en oxygène ($r = 0,82$), l'ammonium ($r = 0,63$), le phosphore total ($r = 0,77$), l'oxygène dissous ($r = -0,64$), la profondeur ($r = -0,67$) et le débit ($r = -0,77$). L'axe 2 est fortement corrélé au pH ($r = -0,59$), aux nitrates ($r = -0,50$) et aux orthophosphates ($r = 0,61$).

La classification des points d'échantillonnage (Fig. 3.19) est fortement influencée par des valeurs de concentrations extrêmes souvent enregistrées en saison des pluies. Elle se traduit par une succession des mois d'échantillonnage le long de l'axe 1, alors que les stations sont très rapprochées les unes des autres sur les deux axes. La qualité des eaux du fleuve Niger est nettement différente selon les saisons (Fig. 3.20). Ainsi, la période de crue est opposée à l'étiage et à la saison des pluies sur l'axe 1 par des facteurs tels que le débit, la profondeur de l'eau et l'oxygène dissous qui sont plus élevées en période de crue. Les autres facteurs sont par contre plus élevés en étiage et en saison des pluies. Cette différence de qualité des eaux s'observe également bien à travers les observations mensuelles (Fig. 3.21).

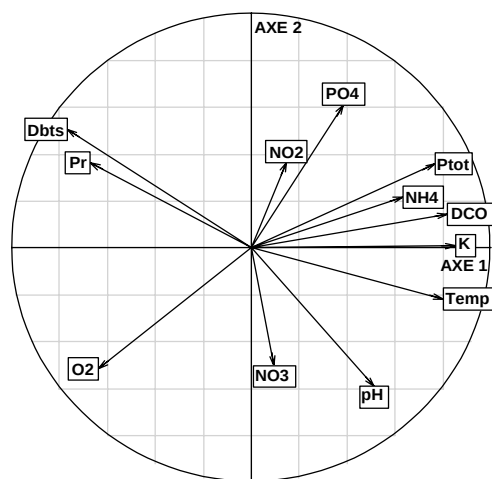


Figure 3.18 : Corrélation des paramètres physico-chimiques des eaux du fleuve Niger sur les deux premiers axes de l'ACP pour les trois périodes d'échantillonnage (étiage, saison des pluies, crue).

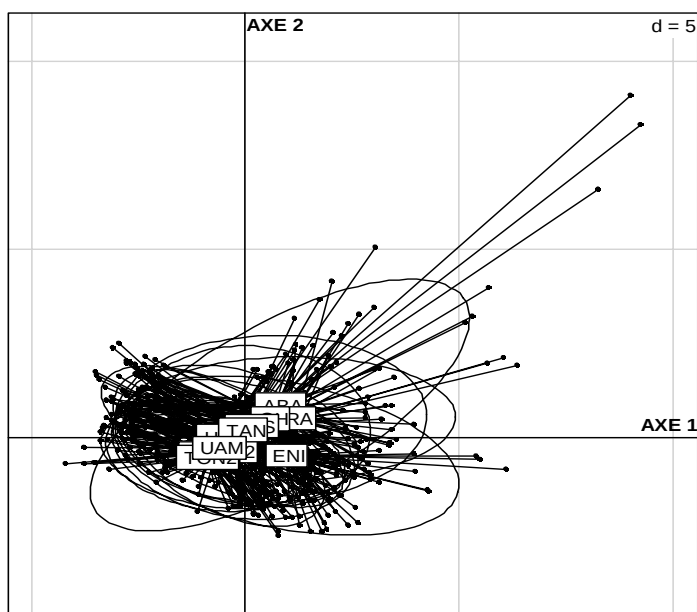


Figure 3.19 : Distribution des stations de prélèvement des eaux du fleuve Niger sur les deux premiers axes de l'ACP pour les trois périodes d'échantillonnage (étiage, saison des pluies, crue).

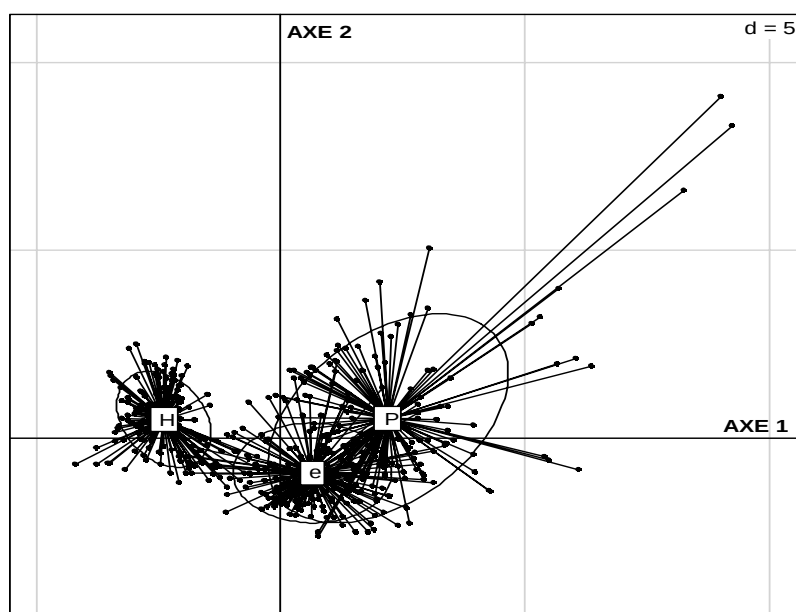


Figure 3.20 : Distribution des périodes d'échantillonnage des eaux du fleuve Niger (étiage = e, saison des pluies = P, crue = H) sur les deux premiers axes de l'ACP.

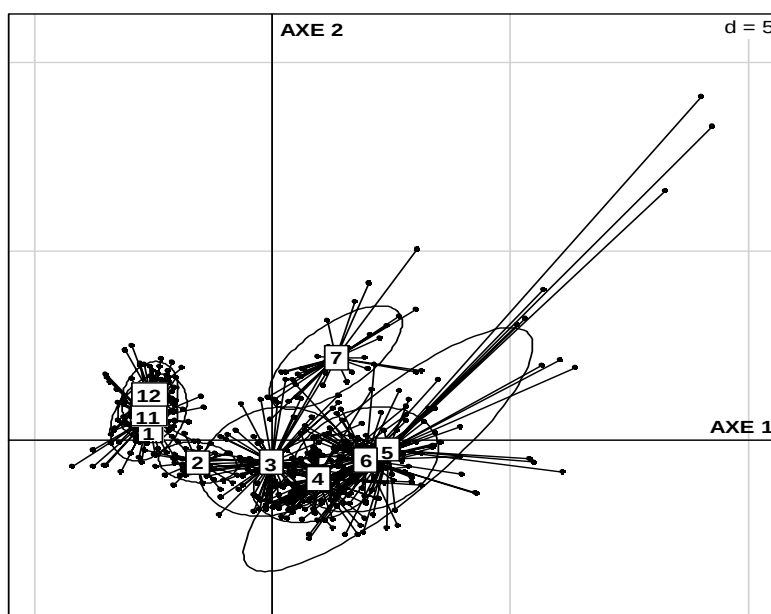


Figure 3.21 : Distribution des mois d'échantillonnage des eaux du fleuve Niger sur les deux premiers axes de l'ACP (les mois: janvier à décembre sont symbolisés par les chiffres 1 à 12).

Pour mieux visualiser l'ordre dans la succession des stations, nous avons réalisé des ACP séparées selon les différents régimes du fleuve (étiage, crue, saison des pluies).

A l'étiage, 41 % de la variabilité sont expliqués par les deux premiers axes dont 22 % par l'axe 1 et 19 % par l'axe 2. La corrélation des facteurs environnementaux aux axes est donnée à la figure 3.22 :

- l'axe 1 est fortement corrélé à la température ($r = 0,70$), nitrates ($r = 0,85$) et débit ($r = -0,80$).

- l'axe 2 est fortement corrélé à la conductivité ($r = -0,78$), phosphore total ($r = -0,51$) et oxygène dissous ($r = 0,54$).

La DCO est négativement corrélée aux deux axes avec respectivement $-0,49$ et $-0,40$ comme coefficients de corrélation sur les axes 1 et 2.

Nous retiendrons que l'axe 3 est fortement corrélé à l'ammonium ($r = -0,60$), PO_4^{3-} ($r = -0,52$) et profondeur ($r = -0,71$).

Les résultats de cette analyse mettent en évidence le long de l'axe 2 une succession des stations de l'amont vers l'aval (Fig. 3.23) qui résulte d'une différence dans la qualité physico-chimique des eaux du fleuve Niger le long des berges.

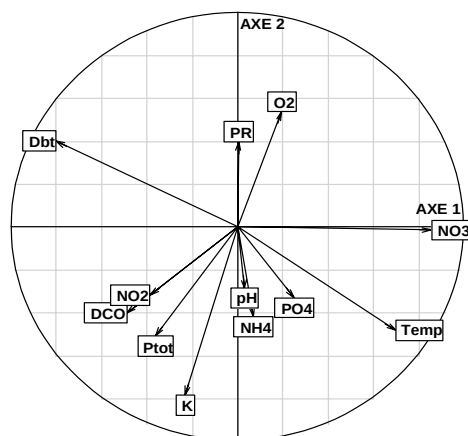


Figure 3.22 : Corrélation des paramètres physico-chimiques des eaux du fleuve Niger sur les deux premiers axes de l'ACP en étiage (K = conductivité ; Dbt = débit ; PR = profondeur ; Temp = température ; Ptot = phosphore total).

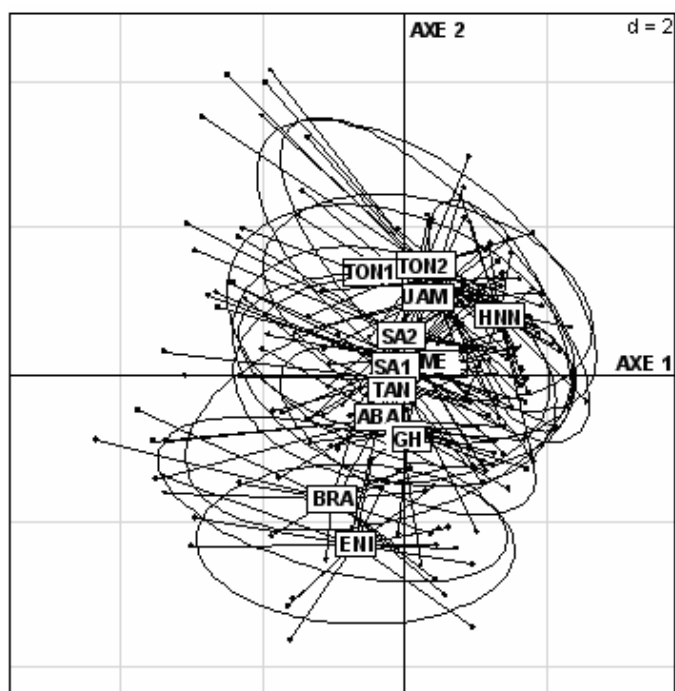


Figure 3.23 : Distribution des stations de prélèvement des eaux du fleuve Niger sur les deux premiers axes de l'ACP en étiage.

Ainsi, nous avons les stations TON 1, TON 2, SA 1, SA 2 et UAM qui forment un groupe caractérisé par des concentrations en oxygène dissous supérieurs à 7 mg l^{-1} et des concentrations plus faibles en conductivité (64 à $72 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$), orthophosphates ($0,09$ à $0,10 \text{ mg l}^{-1}$), phosphore total ($0,10$ à $0,20 \text{ mg l}^{-1} \text{ P}$) et ammonium ($0,10$ à $0,20 \text{ mg l}^{-1} \text{ N-NH}_4$). Ce groupe est constitué des stations de référence (TON 1 et TON 2) situées en amont de toutes les sources de pollution et des stations en aval loin des sources de pollution (SA 1 et SA 2) et de l'UAM, l'unique station située en rive droite où il y a très peu de sources de pollution. La présence de SA 1 et SA 2 dans ce groupe, reflète une restauration de la qualité des eaux du fleuve. A l'opposé de ces stations nous avons les stations BRA et ENI, deux stations qui se distinguent par une conductivité plus élevée (162 et $184 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$).

Un groupe intermédiaire entre les deux premiers groupes est composés de ABA et GH caractérisées par des concentrations plus élevées en orthophosphates ($0,20 \text{ mg l}^{-1}$), phosphore total ($0,80 \text{ mg l}^{-1}$

P) et ammonium (1 et $1,20 \text{ mg l}^{-1} \text{ N-NH}_4$). Ces deux stations, situées respectivement en aval du point de rejets de l'abattoir et de celui des rejets domestiques qui débouchent au grand hôtel, présentent une pollution plus importante.

Le dernier groupe est celui de TAN, ME et HNN respectivement situées en aval de la tannerie, du point de rejets domestiques situé à Mess et de celui de l'hôpital national de Niamey.

En saison des pluies, la variabilité observée entre les stations est à 49 % expliquée par les deux premières composantes dont 25 % par l'axe 1 et 24 % par l'axe 2. La corrélation des variables environnementales avec les deux axes (Fig. 3.24) se présente comme suit :

- l'axe 1 est fortement corrélé à K ($r = - 0,76$), DCO ($r = - 0,71$), NH_4^+ ($r = - 0,61$) et O_{2d} ($r = 0,72$) ;
- l'axe 2 est fortement corrélé au pH ($r = - 0,62$), PO_4^{3-} ($r = 0,60$), Ptot ($r = 0,66$), Pr ($r = 0,82$) et Dbt ($r = 0,82$) ;

Seule la température et les nitrites ne sont pas corrélés à ces axes.

Nous retiendrons que l'axe 3 est fortement corrélé à NH_4^+ ($r = - 0,50$) et NO_3^- ($r = 0,59$).

Cette analyse met également en évidence une distribution des stations de l'amont à l'aval selon leur état de pollution (Fig. 3.25).

Deux groupes de stations se dégagent le long de l'axe 1 :

- un premier groupe composé de TON 1, TON 2, SA 1, SA 2, UAM et HNN caractérisé par des concentrations faibles en nutriments (PO_4^{3-} , Ptot, NH_4^+) et en DCO. Ces stations ont par contre des concentrations en oxygène dissous et en nitrates les plus élevées ;
- un deuxième groupe plus pollué est constitué de TAN, GH, ABA, ME, ENI et BRA. Il est caractérisé par des concentrations plus importantes en DCO et en nutriments (NH_4^+ , PO_4^{3-} , Ptot) et plus faibles en oxygène dissous et en nitrates. Les concentrations en nitrates à l'aval de la tannerie sont beaucoup plus importantes de même que celles en oxygène dissous.

Pendant la période de crue, la variabilité entre les stations de prélèvement est expliquée à 54 % par les deux premiers axes dont 32 % par l'axe 1 et 22 % par l'axe 2.

La corrélation des facteurs environnementaux aux axes est donnée par la figure 3.26.

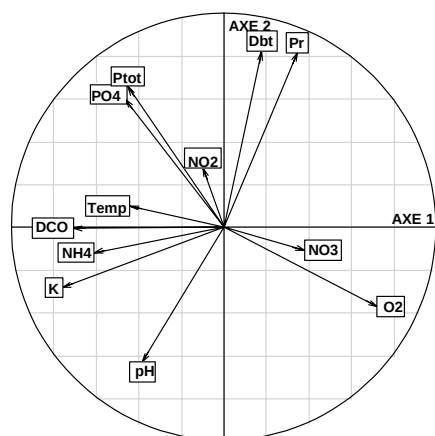


Figure 3.24 : Corrélation des paramètres physico-chimiques des eaux du fleuve Niger sur les deux premiers axes de l'ACP en saison des pluies.

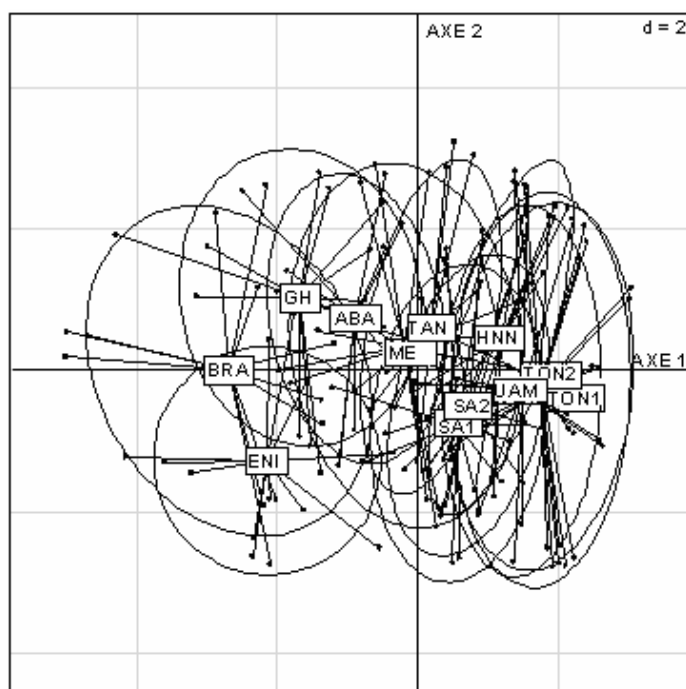


Figure 3.25 : Distribution des stations de prélèvement des eaux du fleuve Niger sur les deux premiers axes de l'ACP en saison des pluies.

Ainsi, l'axe 1 est corrélé à K ($r = -0,76$), NO_3^- ($r = -0,90$), NO_2^- ($r = 0,77$) et Dbt ($r = 0,92$) et l'axe 2 est corrélé à NH_4^+ ($r = 0,74$), PO_4^{3-} ($r = 0,85$), Ptot ($r = 0,87$) et Pr ($r = 0,56$).

Nous retenons que l'axe 3 est corrélé à Temp ($r = 0,79$) et O_{2d} ($r = -0,83$).

Les résultats (Fig. 3.27) montrent une succession le long de l'axe 2 des stations de l'amont vers l'aval et peuvent être classées en quatre groupes :

- le groupe 1 avec les stations TON 1, TON 2, SA 1, SA 2 et ENI ; ce groupe est caractérisé par des stations ayant les plus faibles teneurs en ammonium, orthophosphates et phosphore total ;
- le groupe 2 avec une seule station (BRA) qui diffère des autres stations par un déficit en oxygène dissous ($5,80 \text{ mg l}^{-1}$) très significatif ($P < 0,01$) ;
- le groupe 3 constitué de GH, TAN, ME, UAM et HNN affiche en période de crue les plus fortes concentrations en ammonium, orthophosphates et phosphore total. Dans ce groupe, UAM et HNN ne sont pas significativement différentes des autres stations pour les concentrations en ammonium ;
- le groupe 4, composé de ABA, présente des caractéristiques physico-chimiques intermédiaires entre le groupe 1 et le groupe 3.

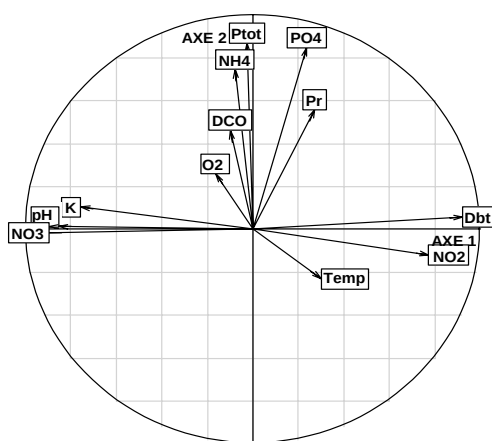


Figure 3.26 : Corrélation des paramètres physico-chimiques des eaux du fleuve Niger sur les deux premiers axes de l'ACP en période de crue.

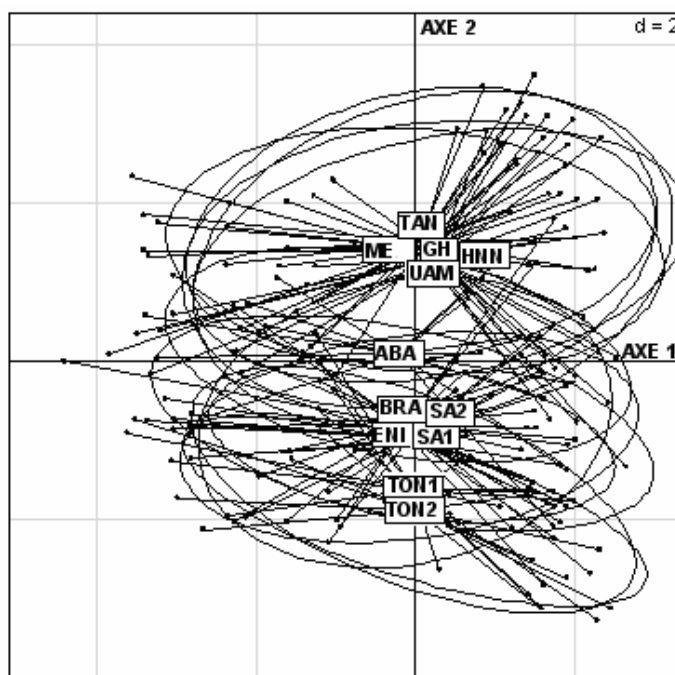


Figure 3.27 : Distribution des stations de prélèvement des eaux du fleuve Niger sur les deux premiers axes de l'ACP en période de crue.

3.3. Discussion

3.3.1. Analyse de variance

Les stations d'échantillonnage ont été comparées entre elles à partir de chaque facteur environnemental indépendamment des autres facteurs pendant chaque période de prélèvement des échantillons d'eau.

Les facteurs qui expliquent de manière significative ($P < 0,05$) la variabilité entre les stations sont la conductivité, le pH, la demande chimique en oxygène, l'ammonium, les nitrites, les orthophosphates, le phosphore total, l'oxygène dissous et la saturation en oxygène.

La conductivité le long du fleuve Niger à Niamey est dans l'ensemble faible et proche de celles signalées dans le Niger supérieur au Mali (19 à 40 $\mu\text{S cm}^{-1}$ à Koulikoro) par PICOUE (1999) et dans le delta du Niger au Nigeria (48 à 90 $\mu\text{S cm}^{-1}$ à Epie Creek) par IZONFUO et BARIWENI (2001). Néanmoins, des variations saisonnières liées aux fluctuations du débit et aux apports des eaux de ruissellements sur le bassin versant qui dissout une certaine quantité de sels minéraux s'observent avant d'être dilué au fur et à mesure de la remontée de la

crue. De plus, les déversements des eaux usées de conductivité élevée comme celles du rejet domestique de Gountiyéna (RGOU) et du rejet de l'entreprise nigérienne de textile (RENI) directement dans le cours d'eau s'accompagnent d'une augmentation de la conductivité des eaux du fleuve Niger à Niamey le long des rives où le courant n'assure pas un brassage efficace surtout en période d'étiage. Ces variations se traduisent par la différence de concentrations ioniques des eaux du fleuve Niger d'une part entre les périodes d'échantillonnage (crue, étiage, saison des pluies) et d'autre part entre la zone des rejets et l'amont et l'aval loin des rejets. La différence de minéralisation entre les stations de prélèvements est beaucoup plus importante en étiage et en saison des pluies et plus faible en période de crue à cause certainement de la dilution qui joue sur les concentrations ioniques plus loin en aval.

A Niamey, les conductivités les plus élevées sont effectivement observées à GH, BRA et ENI. Ces stations reçoivent respectivement les rejets de RGOU, RBRA et RENI qui présentent les conductivités les plus élevées. En aval de ces stations, la conductivité baisse de manière importante à SA 1 et SA 2, ce qui indique une dilution des rejets après un mélange avec les eaux du fleuve. Néanmoins, les variations de la conductivité observées n'affectent pas la répartition des charges entre les ions ; autrement dit, le faciès chimique le long du fleuve reste le même.

Les valeurs de pH à Niamey se situent autour de 7 comme à Koulikoro et Epie Creek. Elles reflètent bien la lithologie à l'échelle du bassin (Cf chapitre 1) et le faciès bicarbonaté sodique des eaux du fleuve Niger à Niamey et dans le delta supérieur au Mali (PICOUE, 1999). Les variations saisonnières ne sont pas significatives. La seule hausse importante de pH relevée à l'aval du rejet de l'ENITEX (RENI) est due à la soude caustique que renferment ces rejets, ce qui leur confère un pH basique. Une forte augmentation de pH dans l'eau peut être toxique pour la faune aquatique en induisant une augmentation des concentrations en ammoniac toxique (DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY, 1996 : In PIYANKARAGE *et al.*, 2004).

Le profil de température ne présente pas de grandes variations. Il est caractéristique des conditions de températures naturelles élevées en zones tropicales. La seule différence est observée à la crue, période à laquelle la température atmosphérique est naturellement plus basse.

Les matières en suspension connaissent une augmentation importante en saison des pluies. Cela s'explique par le phénomène d'érosion qui affecte le bassin et la présence d'importants déchets charriés par les eaux de ruissellement à la fois dans les champs où sont répandus les déchets solides de la ville et dans les caniveaux. A Akka et Diré dans le bassin supérieur du Niger, les concentrations varient entre 27 et 44 mg l⁻¹ de 1991 à 1998 (PICOUET, 1999). Ces concentrations sont proches de celles mesurées à Niamey en étiage (27 à 62 mg l⁻¹) et pendant la crue (22 à 30 mg l⁻¹). Elles sont par contre très basses comparativement à celles mesurées en saison des pluies (934 à 1 495 mg l⁻¹). Ces fortes concentrations en matières en suspension jouent sur la transparence de l'eau en saison des pluies qui devient faible (AKPAN, 2004) et par conséquent diminue la concentration en oxygène dissous. Selon DAGET (1957), la transparence de l'eau du fleuve Niger dans le delta central du Niger ne dépasse pas 1 m en étiage et 0,5 m en période de crue.

En saison des pluies, la baisse de la concentration en oxygène dissous s'observe sur l'ensemble des stations de prélèvement le long du fleuve Niger à Niamey. Ces concentrations sont souvent en dessous de 5 mg l⁻¹, teneur requise pour la survie des êtres vivants aquatiques (HODGES, 1973 In : IZONFUO et BARIWENI, 2001 ; ODOKUMA et OKPOKWASILI, 1993).

En étiage, la concentration en oxygène dissous est plus élevée à la station GH. A cette période le courant est particulièrement quasi nul à cette station car dévié vers la rive droite par un seuil latéritique construit (actuellement non fonctionnel) dans les années 1986-1987 pour soutenir l'étiage du fleuve en aval des stations de pompage en eau potable de la ville de Niamey. Un affleurement sableux sépare les deux rives juste en aval du seuil. Ainsi, les eaux usées de la ville qui débouchent à la station GH finissent par s'accumuler et à entraîner un développement du phytoplancton favorisant de ce fait la production primaire et une augmentation de la concentration en oxygène dissous. A la station BRA par contre, la baisse de la concentration en oxygène dissous pourrait être associée aux rejets de RBRA qui au passage charrient d'important excréta et aux activités humaines sur l'ensemble de la station (vaisselle, lessive, maraîchage, baignade,...). Il y a donc un apport en matières organiques comme le montrent les concentrations en demande chimique en oxygène qui sont les plus élevées à BRA et ABA, station dont les rejets contiennent du sang, de la fumure animale et des contenus stomacaux. Ces concentrations sont

de plus en plus diluées vers l'aval des points de rejets. En période de crue, cette dilution est fort importante.

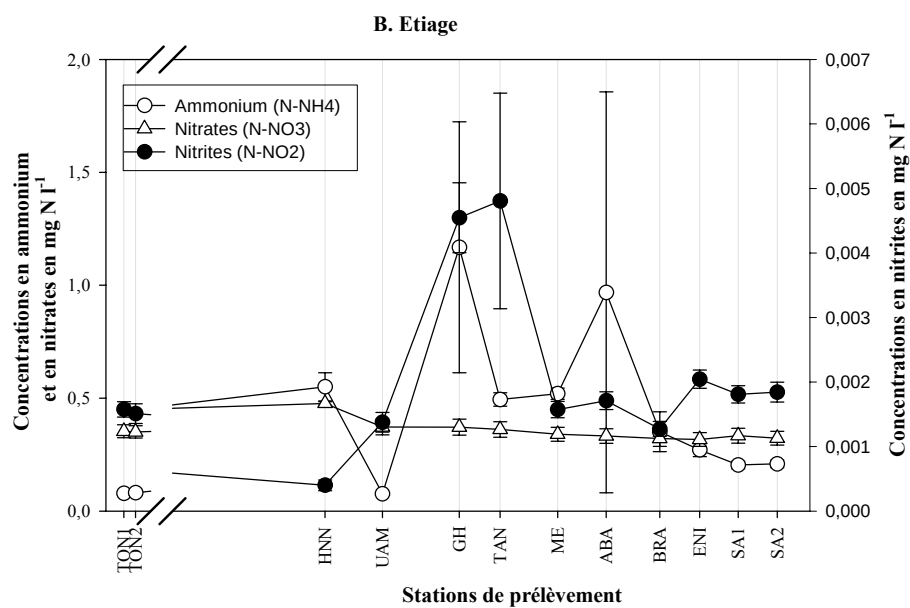
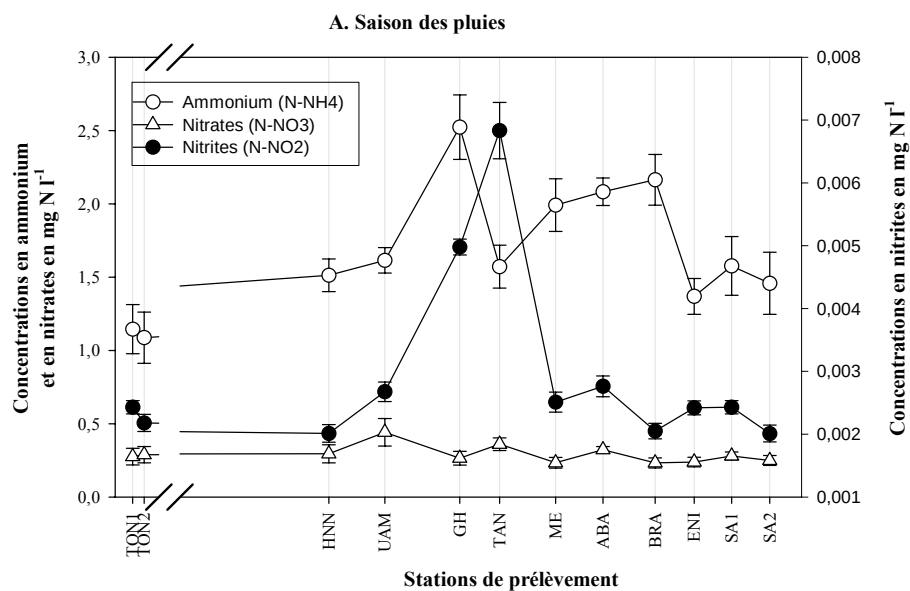
L'analyse, de l'amont à l'aval des points de rejets, de l'évolution des concentrations en ammonium, nitrites et nitrates à toutes les stations et à différentes périodes permet d'apprécier le déroulement du phénomène de nitrification le long du fleuve Niger (Fig. 3.28).

La concentration en ammonium des eaux du fleuve Niger à Niamey est la plus élevée en saison des pluies. Elles sont supérieures à celles des nitrates. Une telle évolution des concentrations en passant en aval d'une pollution est expliquée par BARTSCH et INGRAM (1967). L'augmentation de la concentration en ammonium des eaux du fleuve en cette période peut s'expliquer par un apport exogène provenant des eaux de ruissellement. Ces dernières chargées en matières en suspension et en matières organiques favorisent l'ammonification et diminuent le taux en oxygène dissous des eaux et ralentissent par conséquent le processus de nitrification.

En étiage et en période de crue, l'importance des concentrations en ammonium par rapport à celles des nitrates à certains points de rejets provient d'une ammonification beaucoup plus importante que la nitrification. Ainsi, les collecteurs d'eaux usées rejettent alors plus d'ammonium que de nitrates et de nitrites dans les eaux du fleuve. Il y a alors une fluctuation beaucoup plus remarquable des concentrations en ammonium dans les eaux du fleuve comparativement aux nitrates.

Toujours en période de crue, les concentrations en nitrates sont plus élevées à la station SA 2. Cette différence de concentration avec les autres stations pourrait être mis en relation avec l'utilisation d'engrais chimiques (azote-phosphore-potassium ou NPK) par des petites exploitations rizicoles profitant de la crue le long des berges.

Dans l'ensemble, les concentrations en nitrates sont faibles ($< 0,5 \text{ mg l}^{-1}$) et comparable à celle enregistrées par UZOUKWU et *al.* (2004) dans la rivière de Ubu dans le delta du Niger au Nigeria ($0,1 \text{ à } 3 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3$).



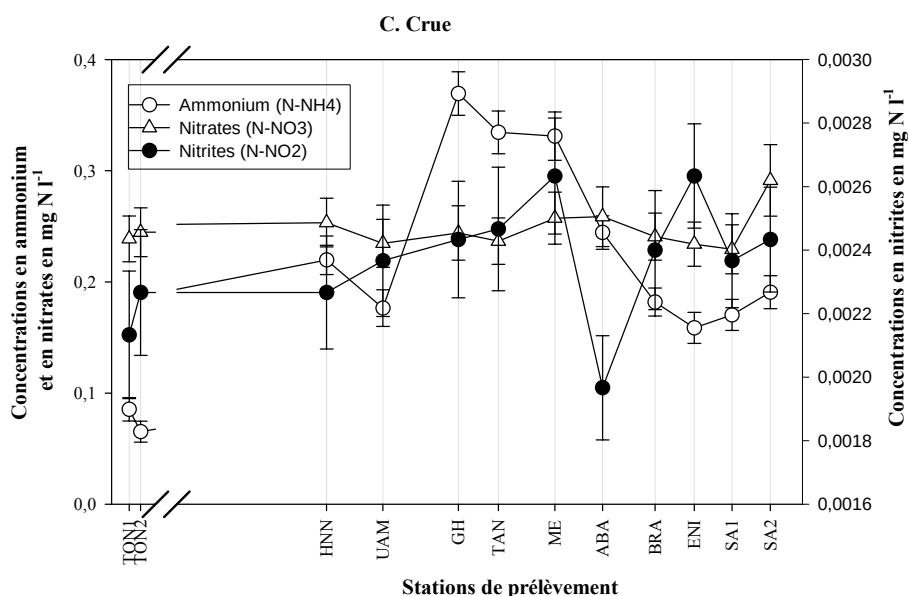


Figure 3.28 : Comparaison des concentrations (en mg l^{-1}) en ammonium, nitrates et nitrites des stations de prélèvement des eaux du fleuve Niger ($N = 12$ en saison des pluies, $N = 15$ en étiage et crue).

Les concentrations en phosphore total varie entre 0 et $2,5 \text{ mg l}^{-1}$. Les concentrations sont nettement plus élevées en saison des pluies et en aval immédiat des points de rejets comparativement aux stations de référence (TON 1 et TON 2) et aux stations en aval loin des rejets (SA 1 et SA 2). Les stations TON 1, TON 2, SA 1 et SA 2 ont également les concentrations les plus faibles en étiage. En période de crue, les concentrations varient très peu entre les stations. Les différences de concentration entre les périodes d'échantillonnage peuvent s'expliquer par l'apport en nutriments des eaux de ruissellement en saison des pluies et par la dilution en période de crue. La différence entre les stations de prélèvement s'explique en plus par les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles dans le fleuve. En aval de tous les rejets, il y a une baisse de la concentration en phosphore total à la station SA 1 puis une légère augmentation à la station SA 2 qui peut être due aux apports de NPK par les petites exploitations rizicoles le long du fleuve.

Les concentrations en orthophosphates sont également plus élevées en saison des pluies, ce qui peut s'expliquer de la même manière que

pour le phosphore total. En comparant les concentrations en étiage et en période de crue, nous nous rendons compte que les concentrations sont plus faibles à TON 1, TON 2, ABA, BRA et ENI en période de crue tandis qu'elle sont plus élevées à la même période pour les stations UAM, GH, TAN, ME et SA 2. Aux stations HNN et SA 1, les concentrations sont les mêmes en période de crue et en étiage. Les faibles concentrations par rapport à celles enregistrées en étiage à TON 1, TON 2, ABA, BRA et ENI pourraient s'expliquer par la dilution alors que l'augmentation de la concentration en période de crue à UAM, GH, TAN et ME pourrait être liée à l'occupation du lit majeur par le fleuve qui limite les pertes des rejets par infiltration et par évaporation. A la station SA 2, l'augmentation de la concentration en orthophosphates en période de crue contrairement à SA 1 pourrait être due aux apports de NPK comme dans le cas du phosphore total.

Nous pouvons ainsi retenir de l'analyse des paramètres physico-chimiques que :

- les stations de référence sont significativement différentes de certaines stations situées en aval immédiat des points de rejets selon le facteur environnemental étudié. Ces différences proviennent sans doute des rejets d'eaux usées et pluviales ne répondant pas aux normes dans le fleuve Niger. La qualité et la quantité de ces rejets sont variables d'un point de rejets à un autre ;
- les stations en aval immédiat des rejets sont significativement différentes entre elles. Ces stations ne subissent pas la même influence des effluents qui varie d'un point de rejets à un autre avec un impact beaucoup plus localisé ;
- les stations en aval loin des rejets ne sont pas significativement différentes des stations de référence mais diffèrent des stations en aval immédiat des rejets ; ce qui traduit à la fois la capacité de dilution et probablement d'auto-épuration du fleuve qui intervient souvent entre deux points de rejets successifs traduisant ainsi un impact des rejets très localisé ;
- la différence entre les différentes périodes d'échantillonnage est très significative. Cette différence est beaucoup plus marquée en saison des pluies qui s'accompagne d'une modification importante de l'ensemble des facteurs environnementaux étudiés dès l'arrivée des premiers écoulements pluviaux dans le fleuve. Le changement constaté dans la valeur des différents paramètres est favorisé également par la coïncidence entre l'arrivée des premières pluies et

l'été sévère du fleuve. A cette période, la capacité de dilution du fleuve est très faible alors que les eaux de ruissellement qui parviennent au fleuve sont chargées de déchets de toute sorte répandus dans la nature et dans les collecteurs municipaux.

En étiage, avec l'exondation du fleuve, les eaux se retirent plus loin des points de rejets. Une grande partie des effluents (14 %) est perdue par infiltration et évaporation (ANONYME, 2001) avant de rejoindre le fleuve. Cette perte de rejets réduit, en étiage, la concentration en effluents du fleuve mais augmente les risques de pollution des eaux souterraines. Cette période est également très favorable aux activités humaines comme la pêche, l'abreuvement du bétail, la vaisselle, la lessive et la baignade. L'utilisation locale des détergents fabriqués peut contribuer aux apports en matières phosphatées dans le fleuve.

Pendant la crue, le fleuve collecte la quasi-totalité des effluents par inondation et les pertes par infiltration sont très réduites. De même, il y a moins de présence humaine. La capacité de dilution du fleuve est en plus très importante.

3.3.2. Etat de pollution des eaux du fleuve Niger à Niamey

Le SEQ-Eau a permis d'approcher de manière qualitative l'altération de la qualité physico-chimique des eaux du fleuve Niger à Niamey et son aptitude à permettre un développement de la biodiversité le long des points de rejets dans le fleuve.

A TON 1 et TON 2 considérées comme stations de référence la qualité de l'eau n'est jamais très bonne (Fig. 3.16). Elle est bonne pour la pollution liée aux matières azotées en étiage et en période de crue et mauvaise en saison des pluies. Aux mêmes stations la qualité de l'eau liée aux matières phosphorées est bonne en période de crue, moyenne en étiage et mauvaise en saison des pluies. La qualité de l'eau liée aux matières organiques et oxydables est toujours moyenne aux stations de référence quelque soit la période d'échantillonnage. Cette variation de la qualité de l'eau peut s'expliquer en saison des pluies par les apports liés aux eaux de ruissellement, en période de crue par la dilution et en étiage par une faible dilution de la pollution éventuelle en amont de ces stations.

En étiage, en aval de ces stations une première altération de la qualité des eaux liée aux matières azotées et phosphorées s'observe à HNN (moyenne à médiocre). Elle s'améliore ensuite à UAM (bonne à moyenne) et redevient mauvaise à GH. Elle s'améliore ensuite à TAN (moyenne) et ME (moyenne à médiocre) et redevient mauvaise à

ABA. Après, la qualité de l'eau s'améliore de manière progressive pour atteindre la qualité bonne à partir de SA 1, première station en aval de tous les rejets de la ville de Niamey. L'altération de la qualité des eaux à GH peut s'expliquer par les charges en nitrites (Fig. 2.20) et en ammonium (Fig. 2.22) déversées par les points de rejets domestiques RGOU et RGH pour les matières azotées. Pour les matières phosphorées, elle peut s'expliquer par les charges en orthophosphates (Fig. 2.24) et en phosphore total (Fig. 2.26) issues de ces points de rejets. A ABA par contre l'altération de l'eau liée aux matières azotées peut essentiellement être due aux charges en nitrites contenus dans les rejets de l'abattoir. L'amélioration de la qualité des eaux à UAM, TAN et ME peut être attribuée à la dilution (Fig.2.8) et à l'absence de rejets à UAM et TAN.

Pour les matières organiques et oxydables, une première altération de l'eau est notée à GH (mauvaise). La qualité de l'eau s'améliore ensuite jusqu'à la station ME (moyenne) avant de devenir mauvaise à ABA et BRA. Elle s'améliore ensuite progressivement en aval jusqu'à SA 1. L'altération de la qualité des eaux liée aux matières organiques et oxydables à GH, ABA et BRA peut être corrélée aux charges respectives en DCO déversées en amont de ces stations (Fig. 2.15).

En saison des pluies la qualité des eaux liée aux matières azotées est médiocre à toutes les stations à l'exception de GH et ABA où elle est mauvaise. Elle est par contre mauvaise à toutes les stations pour les matières phosphorées. Pour les matières organiques et oxydables, elle est mauvaise sauf à TAN et aux stations HNN et UAM où elle est respectivement médiocre et moyenne. L'altération de l'eau à cette période s'explique par les apports associés aux eaux de ruissellement.

Pendant la crue la qualité de l'eau s'améliore à toutes les stations sauf à UAM, ce qui peut s'expliquer aux activités commerciales c'est-à-dire le déchargement de marchandises (courges, patate douce, maïs,...) provenant de Mallanville au Bénin par pirogue.

Aux stations BRA, ABA et GH, l'eau du fleuve Niger a une qualité mauvaise le long des berges qui n'est pas favorable à la présence d'une diversité biologique satisfaisante en étiage et en saison des pluies.

En période de crue par contre la qualité des eaux s'améliore pour passer de moyenne à bonne selon le type d'altération, il se produit alors une dilution des concentrations.

Aux stations ENI, ME, SA 1, SA 2, TAN, UAM et HNN, la qualité des eaux est mauvaise à moyenne selon le type d'altération. Elle atteint un bon niveau de qualité en période de crue.

Les stations TON 1 et TON 2 sont situées en amont de toutes les sources de pollution. Elles ont une eau de bonne qualité qui se détériore en saison des pluies pour devenir mauvaise à moyenne selon le type d'altération.

Ces résultats mettent bien en évidence des apports de matières azotées, phosphorées, organiques et oxydables qui contribuent à l'altération de la qualité des eaux en aval immédiat des points de rejets. Ces apports proviennent non seulement des rejets d'eaux usées de la ville de Niamey le long des berges mais aussi des eaux de ruissellement en saison des pluies et bien d'autres sources de pollution qui ne sont pas évidentes à identifier. En saison des pluies, l'indice de qualité lié aux matières phosphorées est mauvais aussi bien aux stations de référence qu'aux stations en aval des points de rejets. Il est mauvais à médiocre pour l'indice de qualité lié aux matières azotées. Les eaux de ruissellement affectent autant les stations de référence que les stations en aval des points des rejets, ce qui peut être lié aux déchets solides de la ville et à la fumure animale répandus dans les champs de culture auxquels s'ajoute l'érosion du bassin.

3.3.3. Analyse en composantes principales

Grâce à cette analyse, il a été établi une classification des différentes stations de prélèvement basée sur les paramètres physico-chimiques les plus fortement corrélés aux composantes principales exprimant le maximum de variabilité. Ils se dégagent ainsi trois paramètres principaux communs aux différentes périodes de prélèvement ; il s'agit de l'ammonium, des orthophosphates et du phosphore total. Ces trois paramètres semblent être capitaux pour établir une classification des stations de prélèvement le long du fleuve Niger. L'oxygène dissous intervient dans cette classification en étiage et en saison des pluies ainsi que la conductivité en étiage et la demande chimique en oxygène en saison des pluies. Les paramètres qui ne sont pas du tout corrélés aux composantes principales sont le pH, les nitrites et la demande chimique en oxygène en étiage, la température et les nitrites en saison des pluies, la demande chimique en oxygène et le pH en période de crue. Toutes les classifications établies montrent une classification des stations le long d'un gradient de pollution avec en tête les stations les moins polluées c'est-à-dire les stations de référence suivies des stations en aval loin des rejets puis viennent

ensuite les stations les plus polluées c'est-à-dire les stations en aval immédiat des rejets. Le nombre de groupes de stations constitués est variable en fonction des périodes. Il est de deux en saison des pluies et de quatre en étiage et en période de crue. Le plus petit nombre de groupes en saison des pluies traduit une altération généralisée des stations en cette période. L'état de pollution des stations varie ainsi en fonction des périodes d'échantillonnage donc du régime hydrologique du fleuve Niger à Niamey dont la dynamique de retrait du lit majeur est très marquée en étiage. Il peut être aussi influencé par les rejets urbains en étiage et en période de crue puis par les écoulements pluviaux qui charrient à la fois les déchets urbains et environnants en saison des pluies.

Conclusion

Deux phénomènes caractérisent la physico-chimie des eaux du fleuve. D'une part les rejets liquides qui se déversent directement dans le fleuve sans subir de traitement adéquat et d'autre part le transport vers le fleuve de tous les déchets urbains par les eaux de ruissellement en saison des pluies. Dans tous les cas, l'impact se traduit par une différence significative de la physico-chimie des eaux entre les stations de référence et les stations en aval immédiat des rejets avec des concentrations nettement plus élevées en saison des pluies par rapport à l'étiage et à la période de crue.

L'analyse en composantes principales montre une succession de l'amont à l'aval des stations de prélèvement. Ces résultats traduisent parfaitement la différence de la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey en passant de l'amont à l'aval des sources de pollution. Cette différence demeure pendant toutes les périodes d'échantillonnage mais à des degrés variables. Cela se confirme aussi avec le SEQ-Eau.

Références bibliographiques

AKPAN A. W., 2004. The water quality of some tropical freshwater bodies in Uyo (Nigeria) receiving municipal effluents, slaughter-house washings and agricultural land drainage. *The Environmentalist*, 24 :49-55.

ANONYME, 2001. Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau. Rapport de présentation. SEQ-Eau, version 2, 98 p.

ANONYME, 2001. Etude sur l'amélioration de l'assainissement de la ville de Niamey en République du Niger. Rapport final. Vol.II : Rapport principal. Tokyo Engineering Consultants CO., LTD and Yachiyo Engineering CO., LTD., 497 p.

BAILEY S. A., NANDAKUMAR K., DUGGAN I. C., OVERDIJK C. D. A. V., JOHENGEN T. H., REID D. F. and MACISAAC H. J., 2005. In situ hatching of invertebrate diapausing eggs from ships' ballast sediment. *Diversity Distribution* 11: 453-460.

BARTSCH A. F. and INGRAM W. M., 1967. Stream life and the pollution environment. *Biology of water pollution*. US Department of Interior, F.W.P.C.A.: 119-127.

DAGET J., 1957. Données récentes sur la biologie des poissons dans le delta central du Niger. *Hydrobiologia*, 9: 321-347.

DAJOZ R., 1996. Précis d'écologie. 2^e et 3^e cycle universitaires. 6^e édition, Dunod, Paris, 542 p.

DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY, 1996. South African water quality guidelines, 1 st edn., vol. 7: Aquatic ecosystems. Department of water affairs and forestry, Pretoria, Republic of South Africa In : PIYANKARAGE S. C., MALLAWATANTRI A. P., MATSUNO Y. and PATHIRATNE K. A. S., 2004. Human impacts and the status of water quality in the Bundala RAMSAR wetland lagoon system in southern Sri Lanka. *Wetlands Ecology and management*, 12: 473-482.

DESCONNETS J. C.,1994. Typologie et caractéristique des systèmes endoréiques en milieu sahélien (Niger degré carré de Niamey). Thèse de Doctorat, Univ. Montpellier 326 p.

FABRI R. et LECLERCQ L., 1977. Les ruisseaux et rivières de Haute-Belgique. Caractéristiques physico-chimiques des eaux naturelles et polluées. *Natura Mosana*, 30 : 78-87.

GUERO Y., 1987. Organisation et propriétés fonctionnelles des sols de la vallée du moyen Niger. Thèse Doctorat en Pédologie, Univ. Tunis et Niamey, 225 p.

HODGES L., 1973. Environmental pollution. A survey of emphasising physical and chemical principles. Holt, Rhinehart and Winston, Inc. New York In: IZONFUO L. W. A. and BARIWENI A. P., 2001. The effect of urban runoff water and human activities on some physico-chemical parameters of the Epie Creek in the Niger Delta. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 5: 47-55.

IHAKA R. and GENTLEMAN R., 1996. R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 5: 299-314.

IZONFUO L. W. A. and BARIWENI A. P., 2001. The effect of urban runoff water and human activities on some physico-chemical parameters of the Epie Creek in the Niger delta. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 5: 47-55.

KOSMALA A., 1998. Evaluation écotoxicologique de l'impact des effluents de stations d'épuration sur les cours d'eau : intérêt d'une approche intégrée. Thèse de doctorat, Univ. de Metz (France), 189 p.

KUFFERATH J., 1951. Représentation graphique et classification chimique rationnelle en type des eaux naturelles. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles Belgique*, 27: 1-8

LEGENDRE P. and LEGENDRE L., 1998. Numerical Ecology. Second English edition. ELSEVIER Science B.V., Amsterdam, 853 p.

MALAVOI J.-R. and SOUCHON Y., 1992. Hydrologie et dynamique hydroécologique des cours d'eau ; *Revue des Sciences de l'Eau*, 5 : 247-261.

MATHOOKO J.-M., MORARA G. O. and LEICHTFRIED M., 2001. The effect of different anthropogenic disturbances on benthic plant coarse particulate organic matter in a tropical Rift valley stream; Notes and records. *African Journal of Ecology*, 39: 310-312.

MOKAYA S. K., MATHOOKO J. M. and LEICHTFRIED M., 2004. Influence of anthropogenic activities on water quality of a tropical stream ecosystem. *African Journal of Ecology*, 42: 281-288.

MWASHOTE B. M., OHOWA B. O. and WAWIYE, 2005. Spatial and temporal distribution of dissolved inorganic nutrients and

phytoplankton in Mida Creek, Kenya. *Wetlands Ecology and Management*, 13: 599-614.

NDARUGA A. M., NDIRITU G. G., GICHUKI N. N. and WAMICHA W. N., 2004. Impact of water quality on macroinvertebrate assemblages along a tropical stream in Kenya. *African Journal of Ecology*, 42: 208-216.

ODOKUMA L. O. et OKPOKWASILI G. C., 1993. Seasonal influences on inorganic anion monitoring of the New Calabar river, Nigeria. *Environmental Management*, 17: 491-496.

PICOUET C., 1999. Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropisé : le bassin supérieur du Niger et son delta intérieur. Thèse de Doctorat, Univ. Montpellier II, 469 p.

PIYANKARAGE S. C., MALLAWATANTRI A. P., MATSUNO Y. and PATHIRATNE K. A. S., 2004. Human impacts and the status of water quality in the Bundala RAMSAR wetland lagoon system in southern Sri Lanka. *Wetlands Ecology and management*, 12: 473-482.

PRYGIEL J., ROSSO-DARMET A., LAFONT M., LESNIAK C., DURBEC A. and OUDDANE B., 2000. Use of oligochaete communities for assessment of ecotoxicological risk in fine sediment of rivers and canals of the Artois-Picardie water basin (France). *Hydrobiologia*, 410: 25-37.

RODIER J., 1984. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Dunod, Paris, 7^e édition, 1365 p.

SHOMAR B. H., MÜLLER G. and YAHYA A., 2005. Seasonal variations of chemical composition of water and bottom sediments in the wetland of Wadi Gaza, Gaza Strip. *Wetlands Ecology and management*, 13: 419-431.

SMOLDERS R., BERVOETS L. and BLUST R., 2004. In situ and laboratory bioassays to evaluate the impact of effluent discharges on receiving aquatic ecosystems. *Environmental Pollution*, 132: 231-243.

THIOULOUSE J., CHESSEL D., DOLEDEC S. and OLIVIER, 1997. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing*, 7: 75-83.

YOUNES-BARAILLE Y., GARCIA X.F. and GAGNEUR J., 2005. Impact of the longitudinal and seasonal changes of the water quality on the benthic macroinvertebrate assemblages of the Andorran streams. *Compte Rendu Biologies*, 328: 963-976.

UZOUKWU A. B., NGOKA C. and NNEJI N., 2004. Monitoring of seasonal variation in the water quality of Ubu river in Ekwusigo and Nnewi local government areas of Anambra State, Nigeria. *Environmental Management*, 33: 886-898.

VANDEN BOSSCHE J.P. and USSEGLIO-Polatera, 2005. Characterization, ecological status and type-specific reference conditions of surface water bodies in Wallonia (Belgium) using biocenotic metrics based on benthic invertebrate communities; *Hydrobiologia*, 551 : 253-271.

Chapitre 4 : Etude des peuplements de macroinvertébrés

L'utilisation des macroinvertébrés dans l'étude de la qualité des eaux est devenue très fréquente et diversifiée, ce qui explique l'explosion de nombreuses méthodes utilisées actuellement pour évaluer l'état des écosystèmes aquatiques. Ces méthodes portent entre autres sur l'étude de la structure et de la composition des macroinvertébrés (TUMWESIGYE et *al.*, 2000 ; LOMOND et COLBO, 2000), l'utilisation des indices biotiques (SOLIMINI et *al.*, 2000 ; LAFONT et *al.*, 1991), l'utilisation des traits biologiques (VANDEN BOSSCHE et USSEGLIO-POLATERA, 2005 ; STATZNER et *al.*, 2004 ; GAYRAUD et *al.*, 2003 ; USSEGLIO-POLATERA et *al.*, 2000) et l'utilisation des analyses multivariées qui mettent en relation les facteurs environnementaux et les communautés de macroinvertébrés (PISCART et *al.*, 2005 ; SARKAR et *al.*, 2005 ; SHIVOGA, 2001 ; BAUERNFEIND et MOOG, 2000 ; LANCASTER, 1999).

Ce chapitre permettra de faire l'inventaire de la diversité taxonomique des macroinvertébrés du fleuve Niger à Niamey à partir de trois techniques d'échantillonnage (filet troubleau, substrats artificiels et jacinthe d'eau), d'étudier sa distribution et de voir parmi les techniques utilisées celle qui traduit le mieux la différence entre les caractéristiques des stations échantillonnées.

4.1. Méthodologie

Trois méthodes d'échantillonnage ont été utilisées ; il s'agit des substrats artificiels, du filet troubleau et de la jacinthe d'eau. Le choix de ces méthodes est basé essentiellement sur le régime hydrologique du fleuve Niger (étiage et hautes eaux) qui est un facteur déterminant dans l'applicabilité et l'efficacité de chacune d'elles. En étiage, période correspondant à des eaux peu profondes et à des courants faibles, les substrats artificiels et le filet troubleau ont servi à la récolte des macroinvertébrés tandis qu'en hautes eaux, les macroinvertébrés ont été récoltés dans le système racinaire de la jacinthe d'eau à cause de la profondeur des eaux qui n'est pas favorable à l'utilisation des deux premières méthodes. L'utilisation non conjointe de ces méthodes limite leur comparaison, ce qui d'ailleurs n'est pas l'objectif visé par ce travail. L'objectif principal de cette démarche est d'utiliser les macroinvertébrés pour mettre en évidence les variations biologiques et écologiques le long du fleuve Niger à proximité de Niamey qui rejette toutes ses eaux usées dans ce fleuve.

Les stations échantillonnées (TON 1, HNN, UAM, GH, TAN, ME, ABA, BRA, ENI et SA 2) sont représentées à la figure 2.7 (Cf chapitre 2).

4.1.1. Substrats artificiels

L'utilisation des substrats artificiels permet une standardisation de l'échantillonnage en offrant à toutes les stations un micro-habitat uniforme pour les macroinvertébrés avec une possibilité de comparaison de celles-ci.

Dans le cadre de cette étude, les substrats, d'une longueur de 48 cm, une largeur de 38 cm et une hauteur de 10 cm, ont été conçus avec des pierres de taille plus ou moins égale (4 à 8 cm) enfermées dans du grillage galvanisé.

4.1.1.1. Procédure et fréquence d'échantillonnage

Il est généralement recommandé trois (3) à six (6) substrats artificiels par station (PELLETIER, 2002). Dans le cadre de ce travail, quatre (4) substrats artificiels ont été utilisés par station de mai à juin 2004 et huit (8) d'avril à mai 2005 pour parer à la perte de substrats constatée en 2004. Ils sont posés au fond sur deux rangées parallèles en maintenant entre substrat une distance d'un mètre. Les substrats sont laissés dans l'eau pendant six semaines avant d'être relevés. Cette durée correspond à la période jugée minimale pour permettre une colonisation stable des substrats par les macroinvertébrés.

4.1.1.2. Collecte des substrats

Les substrats sont soigneusement retirés de l'eau en utilisant un filet moustiquaire de petites mailles (250 μ m) et de couleur blanche pour éventuellement récupérer les organismes qui chutent. Chaque substrat est immédiatement transféré dans un récipient en plastique contenant de l'eau du fleuve. Les rochers et la grille sont rigoureusement débarrassés des macroinvertébrés qu'ils supportent en utilisant un scalpel. Le contenu du récipient est conservé dans des bocaux contenant du formol 10 % pour un tri au laboratoire.

4.1.1.3. Difficultés rencontrées dans l'application de cette méthode

La principale difficulté liée à l'utilisation de cette méthode sur le fleuve Niger à Niamey est la présence humaine qui occasionne souvent la perte des substrats. Le taux de perte des substrats est de 20 % en 2004 et 27 % en 2005 malgré un contrôle effectué tous les dix

jours au moment de l'échantillonnage des eaux pour les analyses physico-chimiques.

4.1.2. Filet troubleau

Un filet troubleau à mailles de 500 μm avec une ouverture carrée de 21 cm de côté, monté sur un manche en acier de 1,5 m de long est utilisé sur les rives en étiage. Lors de l'échantillonnage, l'ouverture du filet est placée à contre courant et le filet est traîné légèrement sur le fond le long d'un transect de 100 m de long en passant par le maximum d'habitats possibles. Le filet est ensuite relevé et le contenu bien concentré est reversé dans des bocaux contenant du formol 10 %. Le tri est effectué plus tard au laboratoire.

La superficie échantillonnée est de 100 m x 0,21 m soit 21 m².

Cette méthode a été appliquée une fois par mois en mai et juin 2005 puis en mars 2006.

4.1.3. Jacinthe d'eau

Le choix porté sur ce macrophyte (Fig. 4.1) pour la récolte des macroinvertébrés est lié à son abondance dans les zones calmes et à la densité de son système racinaire qui peut être un habitat favorable pour ces êtres vivants aquatiques (VILJOEN et *al.*, 2001).



Figure 4.1 : Plante de jacinthe d'eau.

La jacinthe d'eau, *Eichornia crassipes* (Fig. 4.1), est une plante aquatique présente dans plusieurs pays du monde à température supérieure à 15°C. Originnaire du bassin du fleuve amazonien, la jacinthe d'eau est actuellement répandue sur tous les continents. Sa longueur peut atteindre 20 cm et sa largeur 5 à 15 cm. Elle a la facilité de pousser dans des conditions environnementales et nutritives diverses.

Néanmoins, sa prolifération est beaucoup plus rapide quand l'eau est chargée en polluants (matières en suspension, phosphates, nitrates). Cette prolifération se fait dans les baies et les abords des cours d'eau où le courant est moins fort. Elle se reproduit principalement par clonage mais également à partir des graines qui jouent un rôle dans sa survie et la colonisation des plans d'eau.

La jacinthe d'eau affecte non seulement la santé des riverains en favorisant la prolifération des maladies telles que la bilharziose et la malaria mais également l'état de l'écosystème aquatique en réduisant sa biodiversité et en altérant la qualité chimique des eaux. Elle constitue de ce fait une espèce nuisible pour les riverains et l'écosystème aquatique.

4.1.3.1. Récolte des macroinvertébrés

Elle est effectuée sur les racines de jacinthe d'eau quatre mois après leur stabilisation en saison des pluies. Seule la partie immergée de la plante est prélevée. L'échantillonnage de la jacinthe d'eau est réalisé en différents points de la station selon un transect longitudinal. Pour ce faire, un filet troubleau à maille de 500 μ m est placé en dessous du système racinaire qui est directement coupé, dans celui-ci, avec une paire de ciseaux.

Un échantillon composé d'au moins 10 prélèvements est constitué en février 2005 et 2006 à chaque station (Fig. 4.2). La figure 4.2 est la courbe de saturation de l'échantillonnage qui donne le nombre minimum de prélèvements pour obtenir un échantillon représentatif.

Un prélèvement correspond à une biomasse racinaire sèche de 10 g environ. Tous les prélèvements sont conservés dans des bocaux contenant du formol 10 % puis ensuite trier au laboratoire. La biomasse racinaire est déterminée après plusieurs jours de séchage à l'étuve à 60°C (DEJOUX, 1991) jusqu'à poids constant et pesage direct sur une balance Mettler AK 160 de précision 0,1 mg.

4.1.4. Tri et conservation des échantillons

Les échantillons sont triés au laboratoire sur une colonne de tamis de mailles 5 mm, 1 mm et 0,4 mm. Les organismes directement visibles sont retirés des tamis. Le contenu de chaque tamis est ensuite observé à la loupe binoculaire puis mis en suspension dans l'eau pour éventuellement reprendre le reste des organismes en suspension. Les organismes triés sont conservés au formol 4 % avant leur identification.

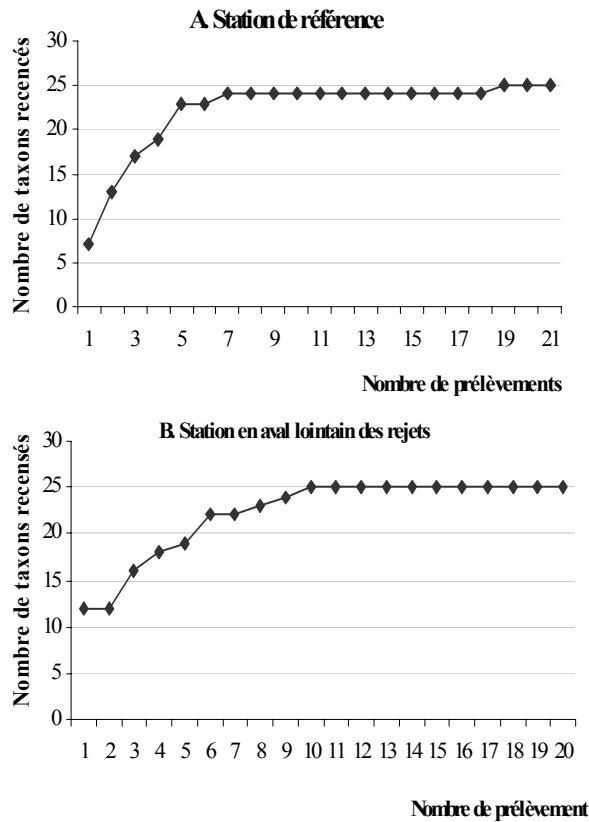


Figure 4.2 : Courbes de saturation d'échantillonnage établies à partir des prélèvements sur la jacinthe d'eau à la station de référence (A) et à la station en aval lointain des rejets (B).

4.1.5. Identification des taxons

L'identification des taxons est effectuée principalement à l'aide de la clé de DURAND et LÉVÊQUE (1980 et 1981) et grâce à l'appui de certains spécialistes (Boudewijn GODDEERIS pour les Chironomidae ; Charles VERSTRAETEN pour les Coléoptères et Henri DUMONT pour les odonates). La détermination est effectuée à la loupe binoculaire Nacet NS 30 en lumière normale et dans certains cas nécessitant des préparations au microscope. Chez certains groupes comme les Chironomidae et les Odonates, la clé de DURAND et LÉVÊQUE se limite à la famille, ce qui nous a amené à élaborer spécifiquement une ébauche de guide pratique (diagnoses) pour la détermination des Chironomidae à partir de la documentation

existante et des taxons récoltés dans le cadre de ce travail. Ce guide est présenté dans ce chapitre.

4.1.6. Traitement des données

L'analyse des données porte sur la structure des peuplements de macroinvertébrés notamment la richesse taxonomique, la diversité et l'équitabilité au sein des stations échantillonnées. La diversité est déterminée grâce à l'indice de Shannon-Weaver de même que l'équitabilité.

Cet indice est exprimé par la formule suivante (QUINN et HICKEY, 1990) :

$$H = - \sum_i^S (P_i)(\log_2 P_i)$$

H = indice de diversité ; S = nombre de taxons ; P_i = proportion du taxon i dans l'échantillon.

Il est subdivisé en trois classes de qualité des eaux (EVRARD, 1996) :

$2 \leq H$ pour une eau propre ;

$1 < H < 2$ pour une eau modérément polluée ;

$H \leq 1$ pour une eau polluée.

L'indice d'équitabilité de Shannon est calculé grâce à la formule ci-dessous et permet d'apprécier la distribution des différents taxons dans les stations échantillonnées :

$$E = \frac{H}{\log_2(S)}$$

E = équitabilité ; H = indice de diversité de Shannon-Weaver et S = nombre de taxa.

L'indice de similarité de Jaccard (LEGENDRE et LEGENDRE, 1998 ; ANGELIER, 2000) de formule $IS = \frac{N_c * 100}{N_a + N_b - N_c}$ est utilisé

en vu de comparer les différents types d'échantillonnage sur la base de la présence/absence des taxons. IS = indice de Jaccard ; N_c = nombre de taxons communs aux deux stations ; N_a et N_b = nombre total de taxons dans respectivement la première et la deuxième station.

La distance de Bray-Curtis de formule
$$D = \frac{\sum_{j=1}^p |y_{1j} - y_{2j}|}{\sum_{j=1}^p (y_{1j} + y_{2j})} = 1 - \frac{2W}{A + B}$$

(LEGENDRE et LEGENDRE, 1998) est calculée pour classer les stations en fonction de leur abondance taxonomique par technique de prélèvement. D = distance de Bray-Curtis, y_{1j} = nombre de taxons j dans la première station, y_{2j} = nombre de taxons j dans la deuxième station, W = somme des abondances minimales des différents taxons entre les deux stations, A = somme des abondances de tous les taxons dans la première station et B = somme des abondances de tous les taxons dans la deuxième station. La distance de Bray-Curtis appelée parfois distance de Sorensen, est une méthode normalisée fréquemment utilisée en botanique, en écologie et en science environnementale. Sa valeur est comprise entre 0 (nette ressemblance) et 1 (forte dissemblance). Elle est non dépendante de la double absence des espèces dans les échantillons.

Le programme "R" est utilisé pour calculer l'indice de similarité de Jaccard et la distance de Bray-Curtis (LEGENDRE et LEGENDRE, 1998).

Le regroupement des objets (stations/techniques de prélèvement) est effectué sur la moyenne pondérée des groupes associés.

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) est utilisée pour déterminer les différentes communautés de macroinvertébrés le long du fleuve Niger à Niamey. L'analyse factorielle de correspondance est appliquée sur l'abondance des taxons après une transformation logarithmique de type LOG (X + 1). L'option de supprimer le poids des taxons rares est appliquée. Dans le cas de la jacinthe d'eau, l'abondance des taxons est exprimée en nombre d'individus par 10 g de biomasse racinaire sur la jacinthe d'eau. Dans le cas des substrats artificiels en nombre d'individus par substrat artificiel (en divisant l'abondance de chaque taxon dans un échantillon par le nombre de substrats artificiels de l'échantillon). Les abondances sont exprimées de cette manière pour avoir le même effort d'échantillonnage à chaque station.

Deux approches sont utilisées dans l'AFC :

- la première prend en compte tous les macroinvertébrés et regroupe l'ensemble des taxons constituant les chironomides dans la famille des

Chironomidae pour qu'ils n'influencent pas les résultats au vu du nombre de taxons qui composent cette famille ;

- la deuxième prend exclusivement en compte les taxons de la famille des Chironomidae pour évaluer leur pertinence dans l'évaluation de la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey.

La représentation graphique de certains résultats ne tient pas compte des stations HNN et UAM dans lesquelles les prélèvements au filet troubleau et sur la jacinthe d'eau n'étaient pas possibles.

Le logiciel utilisé pour l'analyse factorielle de correspondance est CANOCO version 4.02 (TER BRAAK et SMILAUER, 1999). Statistica Kernel version 5.1 est utilisé dans le calcul des corrélations et pour tracer les clusters (STATSOFT FRANCE, 1997). SigmaPlot 9.0 est utilisé pour tracer les ordinations dans le plan formé par les axes de l'AFC. Les graphiques sont ensuite retravaillés dans CANVAS version 6.0.

4.2. Résultats

Les résultats présentent la liste taxonomique, la structure et la distribution des communautés de macroinvertébrés.

4.2.1. Liste des taxons récoltés

Le tableau 4.1 donne la liste complète de tous les taxons récoltés pendant cette étude.

4.2.2. Structure des communautés

La structure des communautés est caractérisée par la distribution de la richesse et de la diversité taxonomique le long des stations échantillonnées.

4.2.2.1. Richesse taxonomique

Au total 67 108 organismes appartenant à 49 familles ont été récoltés. La famille des Thiaridae (gastéropodes) est la plus abondante avec 61 % d'individus suivie des Chironomidae (diptères) avec 17 %, des Huridinés (annélides) avec 6 %, des Dytiscidae (coléoptères) avec 4 % et autres (12 %). Les individus appartiennent à 83 taxons dont 82 % appartenant à la classe des insectes, 11 % aux mollusques, 4 % aux annélides, 2 % aux crustacés et 1 % aux némathelminthes (Tab. 4.1). La famille des Chironomidae compte le plus grand nombre de taxons (20) suivie des Notonectidae (4), des Hydrophilidae, des Baetidae et des Huridinés avec chacun 3 taxons. Les odonates, les trichoptères, les

éphéméroptères et les plécoptères qui sont généralement cités parmi les groupes sensibles à la pollution (MULI et MAVUTI, 2001) totalisent 20 taxons, soit 24 % de la richesse taxonomique, tandis que les Chironomidae et les mollusques considérés comme des groupes indifférents à la pollution totalisent 28 taxons, soit 34 %. Il faut également signaler la présence des Syrphidae qui est une famille de diptère caractéristique des milieux fortement pollués. Les individus de cette famille représente 0,06 % de l'effectif total des macroinvertébrés.

La richesse taxonomique des stations selon le type de prélèvement varie de 25 à 39 taxons sur la jacinthe d'eau, 9 à 35 taxons au filet troubleau et 4 à 30 taxons sur les substrats artificiels (Fig. 4.3).

De manière absolue, la richesse taxonomique est plus élevée, par station, dans le système racinaire de la jacinthe d'eau comparée au filet troubleau et aux substrats artificiels.

Ces deux techniques présentent une richesse taxonomique beaucoup plus semblable alors que dans le système racinaire de la jacinthe d'eau elle est beaucoup plus proche de la richesse taxonomique totale.

L'analyse de la distribution longitudinale de la richesse taxonomique totale (Fig. 4.3) fait ressortir une baisse du nombre de taxons dans les stations en aval immédiat des points de rejets (26 à 48 taxons) comparativement aux stations situées en amont (64 taxons) et en aval (50 taxons) loin des rejets.

Afin de comparer les trois techniques de récolte des macroinvertébrés, nous avons réalisé un classement basé sur l'indice de similarité de Jaccard calculé sur les abondances taxonomiques (Fig. 4.4). Cette classification sépare dans le premier groupe (I) tous les prélèvements effectués dans le système racinaire de la jacinthe d'eau des autres techniques de prélèvement.

Il met aussi en évidence dans les autres groupes (II, III et IV) la ressemblance entre les prélèvements effectués sur les substrats artificiels et au filet troubleau au sein d'une même station à l'exception des stations BRA et ABA.

Cette différence entre les techniques de prélèvement justifie le traitement des données par technique dans la suite du travail.

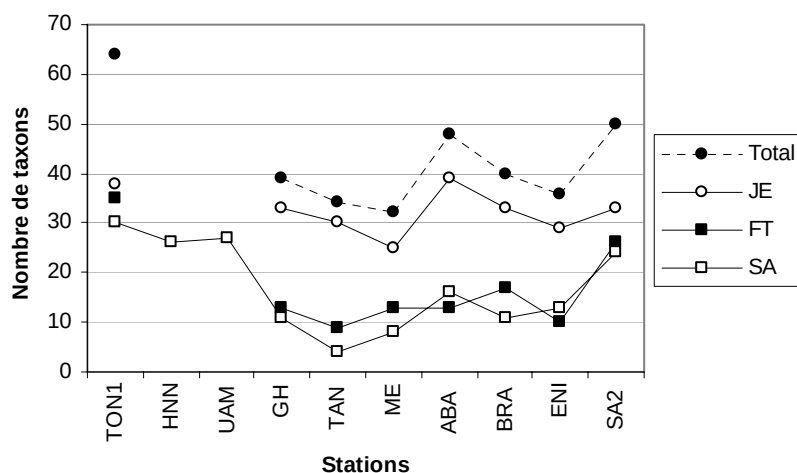


Figure 4.3 : Variation de la richesse taxonomique des macroinvertébrés du fleuve Niger de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey sur l'ensemble des prélèvements.

4.2.2.2. Abondance relative des taxons

L'abondance relative des taxons et le nombre total d'individus récoltés sont représentés aux figure 4.5, 4.6 et 4.7. Tous les taxons dont la proportion dans un prélèvement est inférieure à 5 % sont représentés sous l'appellation autre. Ces taxons représentent dans un prélèvement effectué sur le système racinaire de la jacinthe d'eau 13 à 75 % de la richesse taxonomique contre 74 à 96 % sur les substrats artificiels et 40 à 96 % au filet troubleau. La grande majorité des taxons recensés est donc très faiblement représentée en terme d'abondance dans les prélèvements (Annexe 4.1).

Sur la jacinthe d'eau, Hirudinés 2 (Hir 2), Hirudinés 3 (Hir 3), Libellulidae (Lib) et *Canthydrus* sp. (Can) sont les plus largement distribués le long du fleuve Niger à Niamey (Fig. 4.5). *Canthydrus* sp. représente 51 % de l'abondance à TON1 en février 2005, 46 % à BRA en février 2006 et 60 % en février 2006 à ENI. A l'abattoir, *Chironomus* gr. *plumosus* est mieux représenté avec 42 % en février 2005.

Tableau 4.1 : Liste taxonomique

Nemathelminthes

Annelides

Hirudinés 1 (1p)

Hirudinés 2 (5p)

Hirudinés 3 (6p)

Mollusques

Pilidae

Lanistes sp.

Pila sp.

Sphaeridae

Sphaerium sp.

Ancylidae

Burnupia sp.

Planorbidae

Biomphalaria sp.

Thiaridae

Melania sp.

Lymnaeidae

Lymnaea sp.

Mutelidae

Aspatharia sp.

Bulinidae

Bulinus sp.

Crustacés

Atyidae

Caridina sp.

Potamidae

Potamonautes sp.

Ephéméroptères

Leptophlebiidae

Adenophlebia sp.

Thraulius sp.

Caenidae

Caenis sp.

Baetidae

Baetis sp.

Centroptiloides sp.

Cloen sp.

Heptageniidae

Afronurus sp.

Oligoneuriidae

Elassoneuria sp.

Ephemerellidae

Ephemerellina sp.

Lépidoptères

Pyalidae

Odonates

Gomphidae

Ictinogomphus ferox

Phyllogomphus sp.

Coenagriidae

Ischnura sp.

Pseudagrion sp.

Libellulidae

Cordulidae

Hétéroptères

Corixidae

Agraptocorixa sp.

Micronecta sp.

Naucoridae

Naucoris sp.

Notonectidae

Anisops sp.

Hydrocyrius sp.

Notonecta sp.

Plea sp.

Hydrometridae

Hydrometra sp.

Mesoveliidae

Mesovelia sp.

Nepidae

Ranatra sp.

Belostomidae

Rhagovelia sp.

Plécoptères

Perlidae

Neoperla sp.

Coléoptères

Elmidae

Helminthocaris sp.

Stenelmis sp.

Dytiscidae

Canthydrus sp.

Rhantaticus sp.

Gyrinidae

Hydrochidae

Hydrochus sp.

Hydrophilidae

Amphiops sp.

Enochrus sp.

Neohydrophilus sp.

Spercheidae

Spercheus sp.

Curculionidae

Trichoptères

Polycentropodidae

Dipseudopsis sp.

Ecnomidae

Ecnomus sp.

Hydropsychidae

Macronema sp.

Diptères

Ceratopogonidae

Chironomidae

Chironominae

Chironomini sp.1

Chironomini sp.2

Chironomus gr.

plumosus

Cryptochironomini sp.1

Cryptochironomus sp. 1

Cryptochironomus sp. 2

Dicrotendipes sp.

Glyptotendipes sp.

Microchironomus sp.

Nilodosis sp.

Parachironomus sp.

Polypedilum spp. 1

Polypedilum spp.2

Tanytarsini spp

Xenochironomus sp.

Tanypodinae

Ablabesmyia sp.

Cf. *Procladius* sp.

Clinotanypus sp.

Micropelopiinae sp.

Orthoclaadiinae

Orthoclaadiinae sp.

Culicidae

Mansonia sp.

Psychodidae

Syrphidae

Tabanidae

Tipulidae

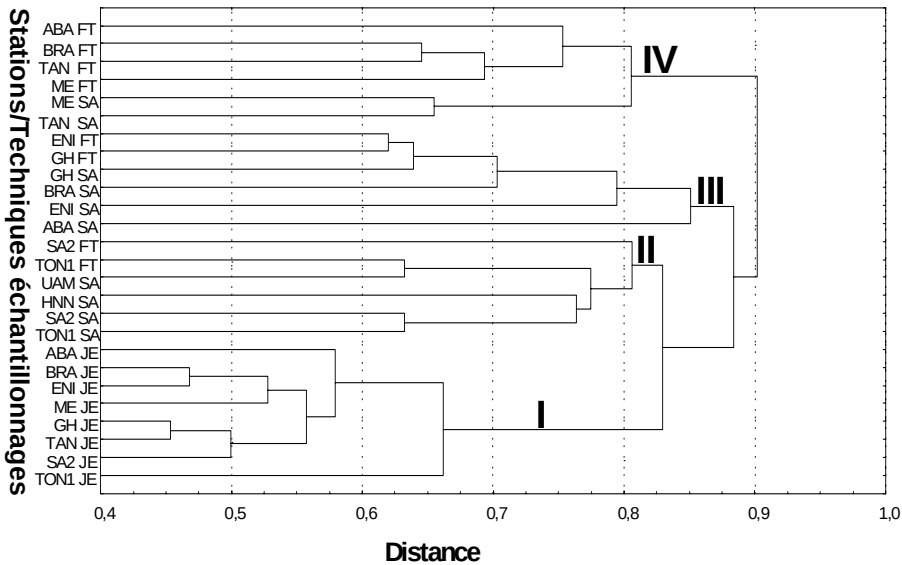
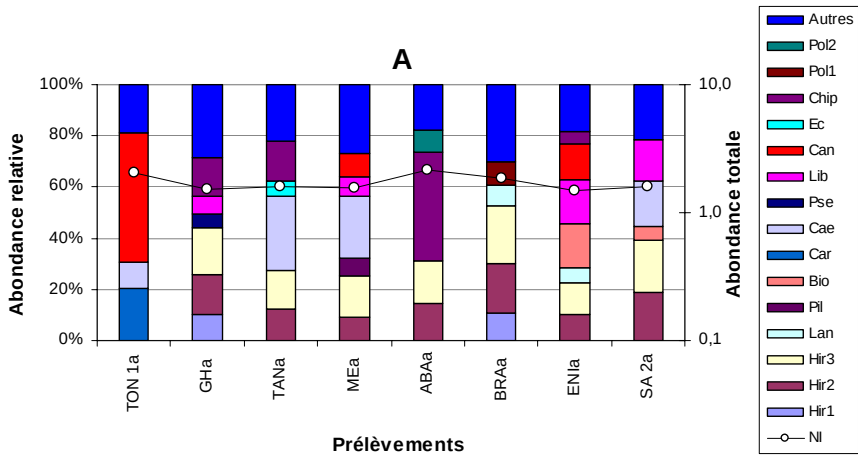


Figure 4.4 : Classification des stations et des techniques d'échantillonnage des macroinvertébrés à partir de l'indice de similarité de Jaccard.



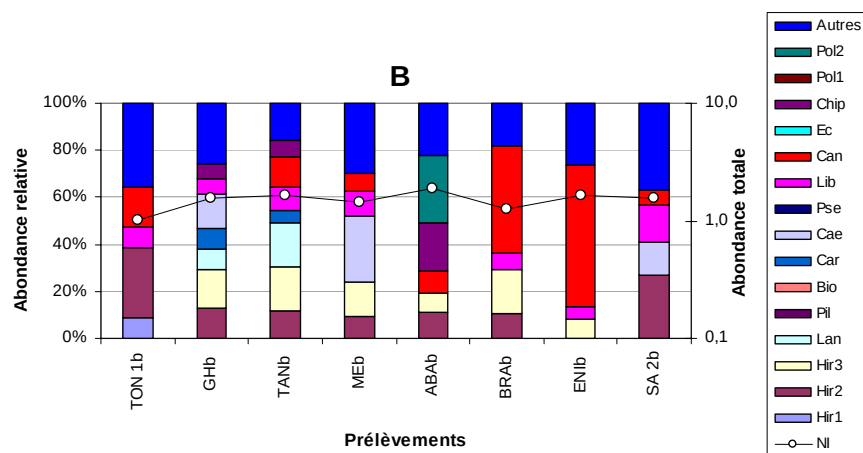
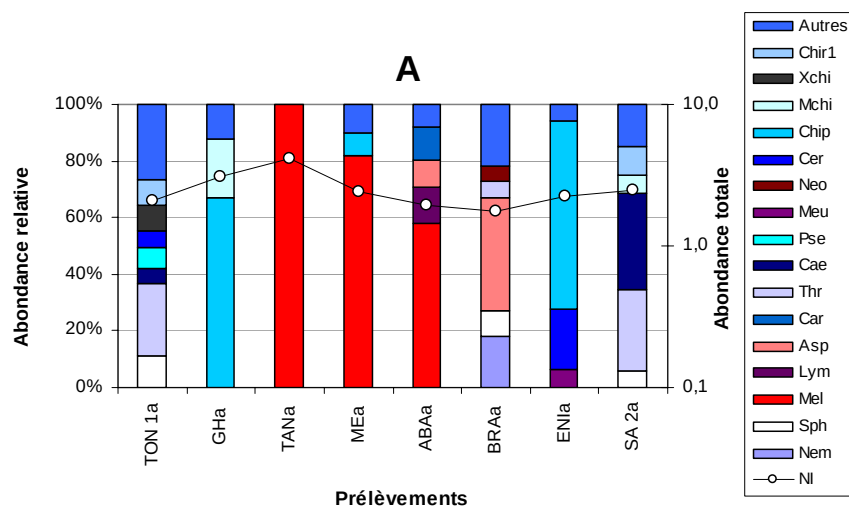


Figure 4.5 : Distribution des abondances taxonomiques totales exprimées en nombre d'individus dans 10 g de biomasse racinaire et des abondances relatives dans les prélèvements effectués sur le système racinaire de la jacinthe d'eau en février 2005 (a) et 2006 (b).



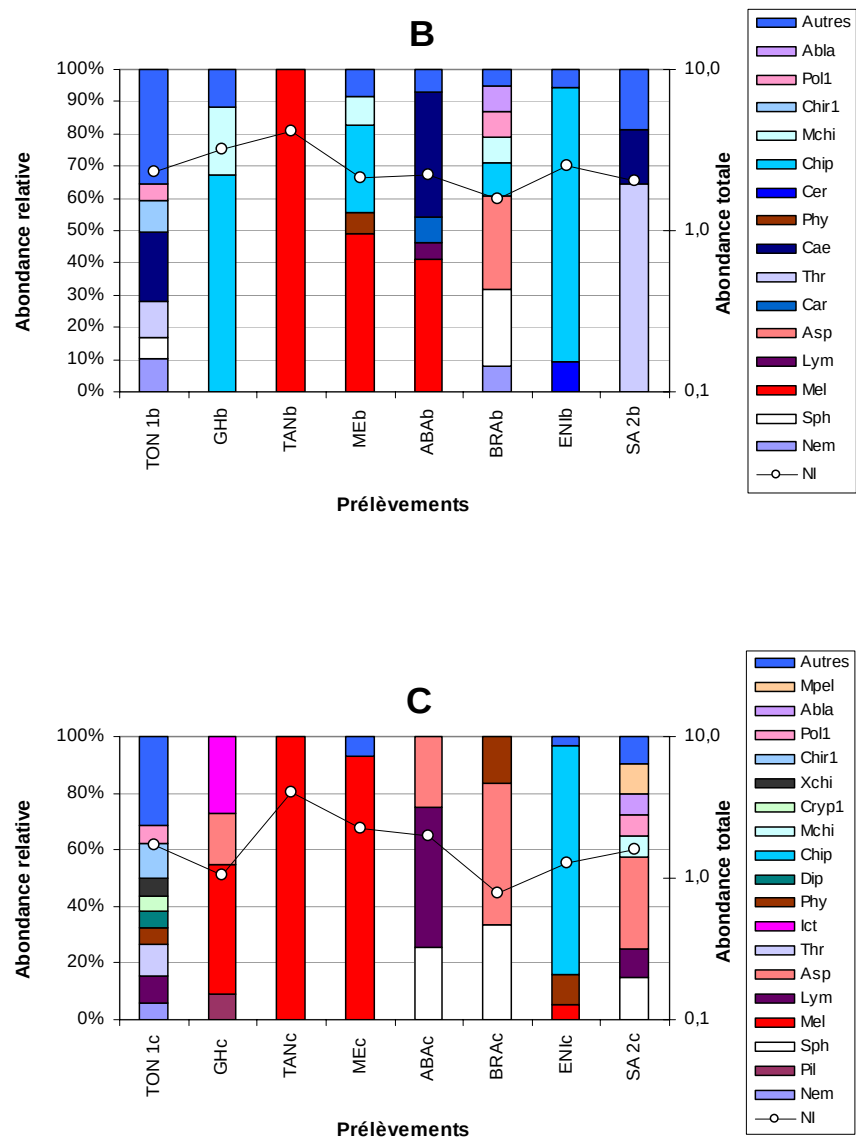


Figure 4.6 : Distribution des abondances taxonomiques totale et relative dans les prélèvements effectués au filet troubleau en mai 2005 (a), juin 2005 (b) et mars 2006 (c).

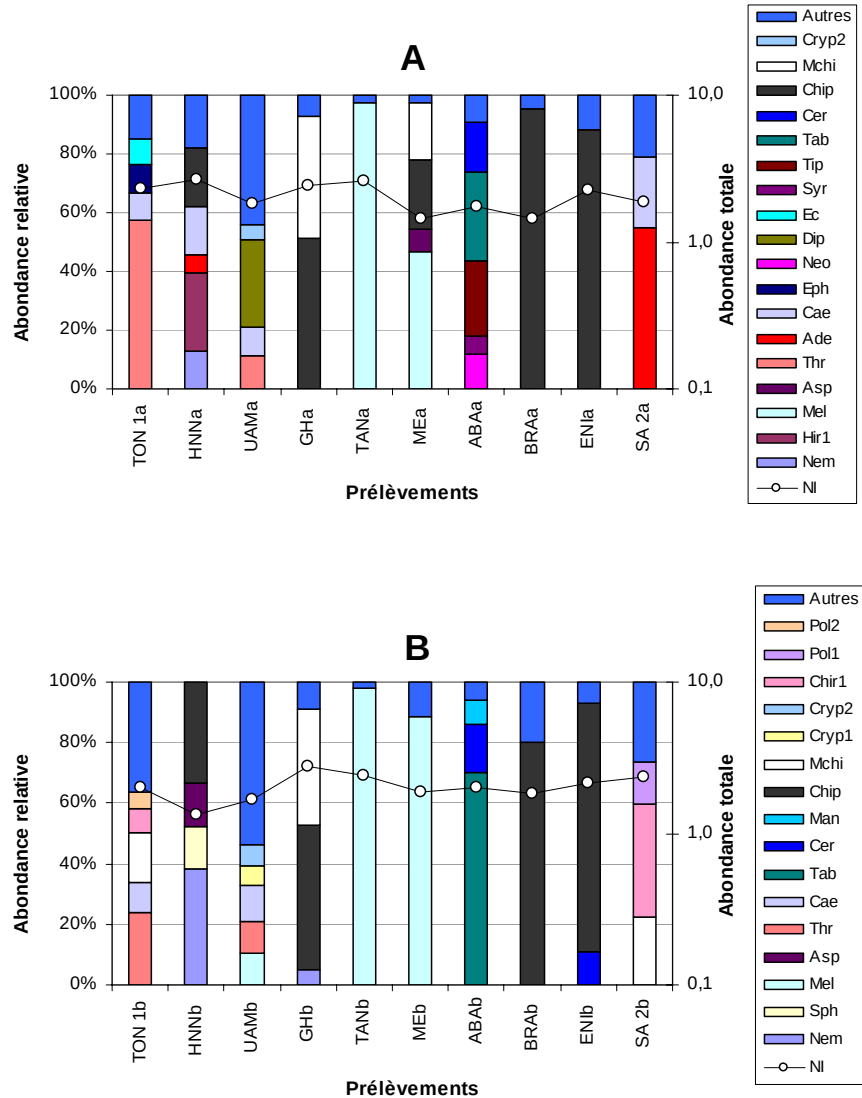


Figure 4.7 : Distribution des abondances taxonomiques totale et relative dans les prélèvements effectués sur les substrats artificiels en mai-juin 2004 (a) et avril-mai 2005 (b).

L'abondance totale est assez variable à TON 1 et BRA. Du prélèvement 2005 à celui de 2006, elle passe de 118 à 10 individus à TON1 et de 70 à 18 individus à BRA.

L'analyse de la distribution des abondances relatives des taxons récoltés au filet troubleau (Fig. 4.6) montre une nette dominance de certains taxons à certaines stations localisées en aval des rejets. A GH, *Chironomus gr. plumosus* domine avec 67 % d'abondance en mai et juin 2005 alors qu'en mars 2006 *Melania sp.* domine avec 45 %. Cette dernière domine à 100 % dans l'ensemble des prélèvements effectués à TAN, 49 à 93 % à ME et 41 à 58 % à ABA. A cette dernière station, *Lymnaea sp.* domine en mars 2006 avec 49 %. A BRA, *Aspatharia sp.* domine les prélèvements avec 29 à 50 %. A ENI, *Chironomus gr. plumosus* domine avec 66 à 85 % et à SA 2, *Thraulius sp.* domine largement en juin 2005 avec 64 %. L'abondance totale est très variable à GH où elle passe de 1 603 individus en juin 2005 à 11 individus en mars 2006, à l'ENI où elle varie de 317 (en juin 2005) à 19 individus en mars 2006. A BRA et SA 2, elle passe respectivement de 55 (en mai 2005) à 6 individus en mars 2006 et de 317 (en mai 2005) à 40 individus en mars 2006.

Il ressort également de l'analyse de l'abondance relative des taxons sur les substrats artificiels (Fig. 4.7) une dominance de certains taxons. Comparativement au filet troubleau, ces taxons sont les mêmes pour la majorité des stations. Il s'agit de *Chironomus gr. plumosus* (47 à 51 %) et de *Microchironomus sp.* (38 à 42 %) à GH, *Chironomus gr. plumosus* à BRA (80 à 95 %), ENI (82 à 88 %) et *Melania sp.* à TAN et ME avec respectivement 97 % et 47 à 89 %.

Par contre, à TON1, HNN, ABA et SA 2 dominent respectivement *Thraulius sp.* (57 %) en juin 2004, Nématelminthes (36 %) et *Chironomus gr. plumosus* (32 %) en mai 2005, Tabanidae (70 %) en mai 2005, *Adenophlebia sp.* (55 %) en juin 2004 et *Chironomini sp. 1* (38 %) en mai 2005.

La variation de l'abondance totale est aussi très marquée entre juin 2004 et mai 2005 à HNN (464 et 22 individus), ME (27 et 73 individus), GH (254 et 552 individus) et BRA (28 et 66 individus).

De manière générale, la distribution de l'abondance taxonomique est variable d'un prélèvement à un autre pour toutes les techniques d'échantillonnage et à toutes les stations.

4.2.2.3. Etude de la diversité des macroinvertébrés

La diversité taxonomique sur les substrats artificiels (Fig. 4.8A) est supérieure à 3 à TON 1 en mai 2005, HNN en juin 2004 et UAM. Elle est comprise entre 1 et 3 à TON 1 en juin 2004, HNN en mai 2005, GH, ME en juin 2004, ABA, BRA en mai 2005 et SA 2. La plus faible

diversité taxonomique (< 1) est observée à TAN, ME (en mai 2005), ENI et BRA (en juin 2004). Au sein des stations TON 1, HNN, ME et BRA l'indice de diversité est différent pour les deux prélèvements.

La distribution des taxons dans les prélèvements est moyennement équitable à équitable à TON 1, HNN, UAM, GH, ME (en juin 2004), ABA (en juin 2004) et SA 2 avec des indices d'équitabilité compris entre 0,52 et 0,92 (Fig. 4.9A). Elle est inéquitable à TAN, ME (en mai 2005), ABA (en mai 2005), BRA et ENI avec un indice d'équitabilité compris entre 0,1 et 0,39.

Les prélèvements effectués au filet troubleau donnent des indices de diversité de Shannon-Weaver répartis en trois niveaux (Fig. 4.8B) : supérieurs à 3 à TON1 pour tous les prélèvements, inférieurs à 1 à TAN et ME pour le prélèvement de mars 2006 et à ENI pour les prélèvements de juin 2005 et mars 2006 puis compris entre 1 et 3 pour le reste des prélèvements. Ces indices de diversité sont assez similaires à TON 1, GH et TAN. Ils se situent dans le même niveau de qualité des eaux à ABA, BRA et SA 2 contrairement à ME et ENI.

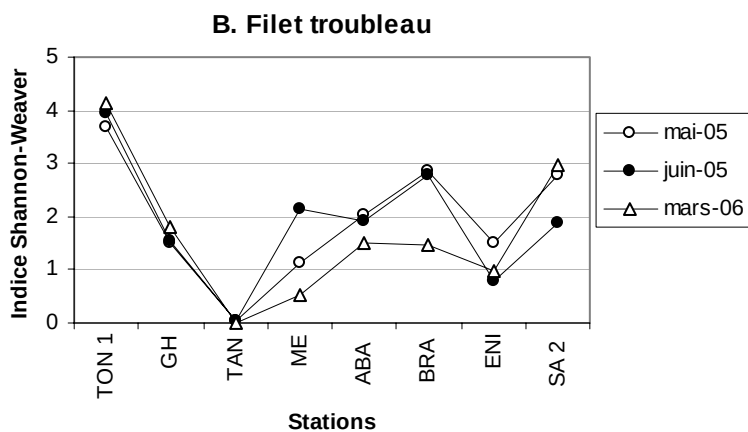
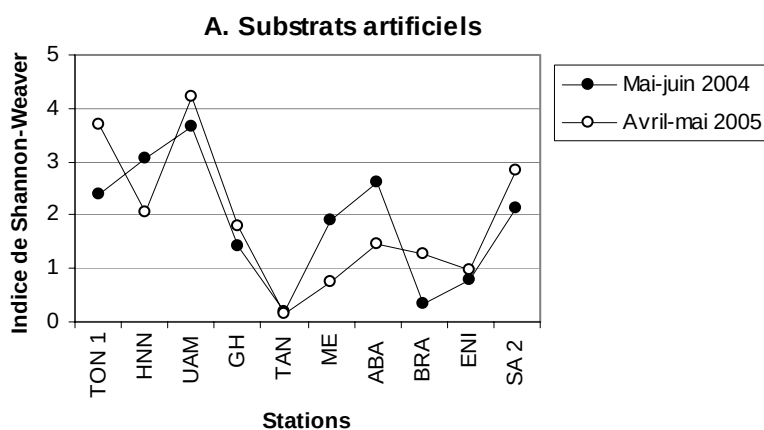
L'indice d'équitabilité est très variable d'une station à une autre et souvent entre les prélèvements d'une même station. Il reflète une répartition moyennement équitable à équitable des taxons à TON 1, ABA, BRA, GH (en mars 2006), ME (en juin 2005) et SA 2 avec des valeurs comprises entre 0,53 et 0,95. A GH (en mai et juin 2005) et à ENI, les taxons sont inégalement répartis avec des indices situés au tour de 0,40 (Fig. 4.9B). A ME (en mai 2005 et mars 2006) et TAN, les indices d'équitabilité reflètent une dominance taxonomique avec des valeurs comprises entre 0,1 et 0,30. Dans l'ensemble, l'indice d'équitabilité est plus élevé en mars 2006 sauf à TAN et ME où *Melania* sp. est très abondante.

L'indice de diversité de Shannon-Weaver calculé sur le système racinaire de la jacinthe d'eau (Fig. 4.8C) est compris entre 2 et 3 pour les prélèvements effectués aux stations TON 1 et ABA en février 2005 et pour les prélèvements effectués aux stations BRA et ENI en février 2006. Pour le reste des prélèvements, il est compris entre 3 et 4 à toutes les stations. Aux stations TON 1, BRA et ENI, la diversité obtenue en février 2005 et 2006 reflètent deux niveaux différents de qualité des eaux.

L'indice d'équitabilité de Shannon (Fig. 4.9C) varie de 0,51 à 0,85, ce qui indique dans l'ensemble une bonne équitabilité dans la distribution des taxons.

Appliquées à la même période, le filet troubleau et les substrats artificiels donnent des résultats assez semblables sauf à TON 1 et BRA où les substrats artificiels retirés en juin 2004 donnent un indice plus faible compris respectivement entre 2 et 3 puis inférieur à 1.

Les prélèvements sur la jacinthe d'eau effectués en période de crue donnent les meilleurs indices de diversité dans toutes les stations.



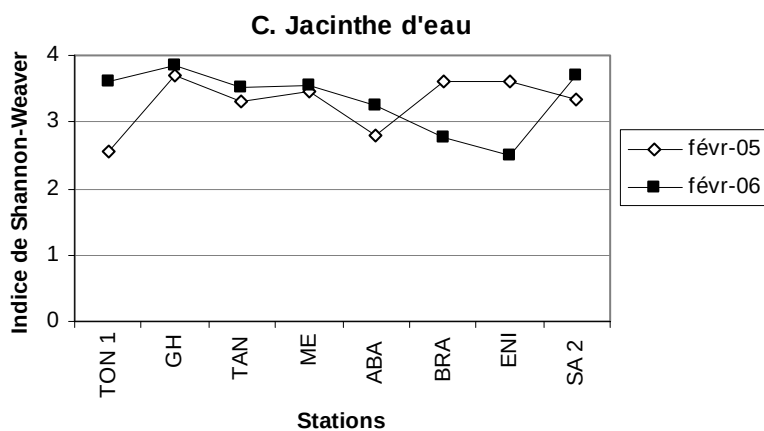
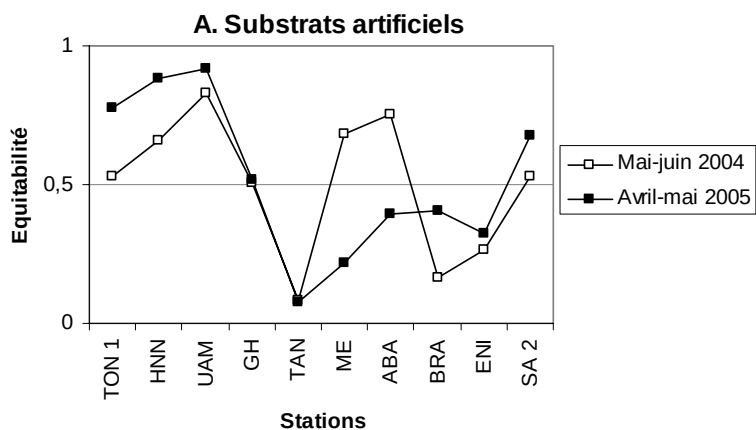


Figure 4.8 : Variation de la diversité taxonomique du fleuve Niger par technique d'échantillonnage et par prélèvement de macroinvertébrés effectué de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey.



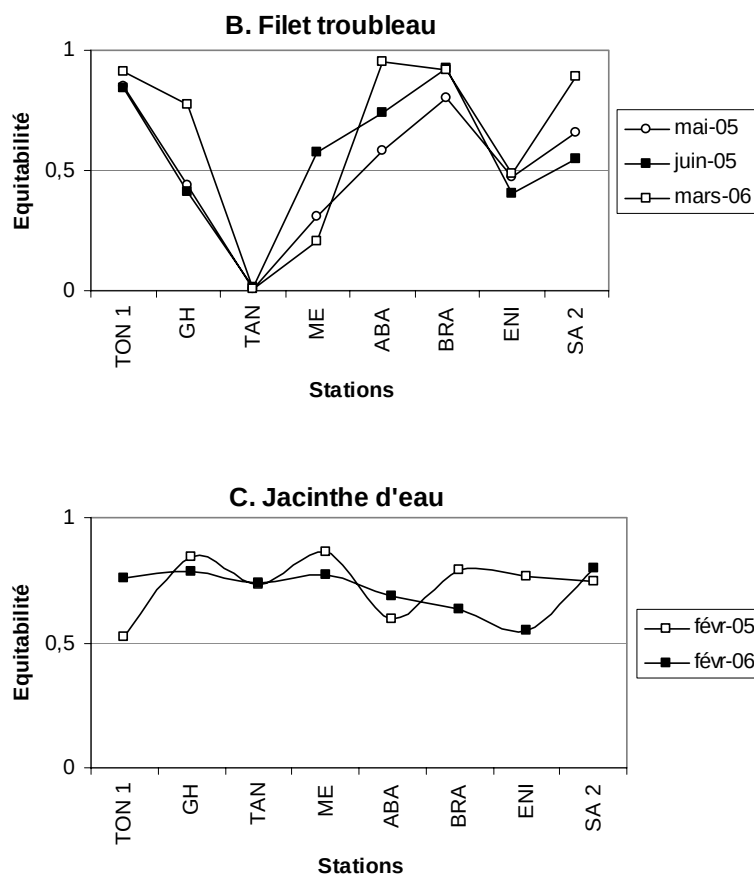


Figure 4.9 : Variation de l'indice d'équitabilité de Shannon par technique d'échantillonnage de macroinvertébrés et par prélèvement effectué de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey dans le fleuve Niger.

4.2.2.4. Répartition taxonomique des macroinvertébrés au sein des stations de prélèvements

L'échantillonnage des macroinvertébrés effectué sur les substrats artificiels permet de mettre en évidence un changement de structure des communautés en passant de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey grâce à une analyse factorielle de correspondance. Néanmoins, ce changement structurel ou gradient est mal exprimé dans une AFC non illustrée ici à cause de l'influence des stations TAN et ME caractérisé par une forte dominance de *Melania*

sp. (Cf Fig. 4.7). Dans l'AFC représentée par la figure 4.10 les prélèvements effectués dans ces stations sont introduits dans l'analyse en mode passif, ce qui a permis d'aboutir à une distribution des taxons et des stations en forme de croissant dans le plan formé par les axes 1 et 2. Ces derniers expliquent 49 % de la variabilité observée dont 30 % par l'axe 1 et 19 % par l'axe 2. L'inertie totale est de 2,20.

L'analyse de cette distribution montre à l'extrême gauche la station de référence (TON 1), la station UAM située en rive droite où les risques de pollution sont faibles, la station HNN qui reçoit les rejets de l'hôpital national de Niamey qui arrive au fleuve en faible quantité et la station SA 2 située en aval de tous les points de rejets. A cette position des stations correspond un groupe taxonomique composé à 47 % par les éphéméroptères, 13 % par les trichoptères, 13 % par les coléoptères puis les odonates, les mollusques, les crustacés et les Hirudinés avec 7 % chacun.

A l'extrême droite se trouve la station ABA à laquelle correspond l'ensemble taxonomique composé de 38 % de diptères (Tipulidae, Tabanidae et Culicidae), 25 % de coléoptères, 25 % d'hétéroptères et 2 % de mollusques.

Entre ces deux extrêmes se situent les stations GH, TAN, ME, BRA, ENI et une partie des prélèvements effectués à HNN et SA 2 pour lesquelles correspond un groupe de taxons composé de 25 % de diptères (Chironomidae et Syrphidae), 25 % de mollusques, 17 % d'odonates puis les hétéroptères, les coléoptères, les némathelminthes et les éphéméroptères avec chacun 8 %.

L'analyse factorielle de correspondance (AFC) réalisée sur les données de macroinvertébrés recueillies au filet troubleau relate aussi un changement de structure des communautés le long du fleuve Niger à Niamey en passant de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville. Elle explique 43 % de la variabilité observée dont 26 % sont expliqués par l'axe 1 et 17 % par l'axe 2, l'inertie totale étant de 2,169. Ce changement se traduit sur la figure 4.11A par la distribution le long de l'axe 1 de deux groupes taxonomiques et d'un groupe taxonomique à cheval entre les axes 1 et 2. Positivement à l'axe 1 est positionné le groupe dominé par des coléoptères (23 %) et des mollusques (23 %) suivi des odonates (15 %), des hétéroptères (15 %), des diptères (15 %) de la famille de Tabanidae et des Syrphidae puis des crustacés de la famille des Atyidae (8 %). Ces taxons au nombre de 13 sont répartis dans les stations ME, TAN, ABA et BRA mais rarement présents dans les autres stations (Fig. 4.11B). A

l'opposé de ce groupe, se trouve un ensemble de taxons dominé par les éphéméroptères (43 %) suivi des trichoptères (14 %), des coléoptères (14 %), des plécoptères, des mollusques, des odonates et des crustacés avec chacun 7 %. Les 14 taxons de ce groupe sont exclusivement récoltés à TON 1 et SA 2 à l'exception de *Caenis sp.* et de *Sphaerium sp.* présents également à ABA. Le dernier groupe est positivement situé sur l'axe 2 et négativement sur l'axe 1. Il compte au total 9 taxons. Il est composé des héteroïptères (22 %), des Chironomidae (22 %), des mollusques, des némathelminthes, des odonates, des trichoptères et des éphéméroptères représentant chacun 11 %. Ces taxons se retrouvent dans les stations ENI, GH, TON 1 et SA 2.

La position des prélèvements sur l'axe 1 indique un effet date qui se traduit par un net décalage vers la droite des prélèvements effectués en mars (c). Cet axe met aussi en évidence un effet pollution en séparant les stations situées loin des pollutions des stations localisées en aval immédiat des points de rejets de la ville de Niamey.

L'analyse de la figure 4.12 résultant de l'AFC sur les abondances de macroinvertébrés récoltés dans le système racinaire de la jacinthe d'eau fait ressortir 6 groupes taxonomiques répartis dans le plan formé par les deux premières composantes (axes 1 et 2). Ces composantes expliquent 42 % de la variabilité observée dont 25 % sont expliqués par l'axe 1 et 17 % par l'axe 2. L'inertie totale est de 0,7. Les taxons composant ces différents groupes présentent une distribution assez large et variée. Ils réduisent la mise en évidence d'un gradient amont-aval.

Pour mettre en relation les différentes distributions taxonomiques exprimées par les trois techniques d'échantillonnage de macroinvertébrés avec un gradient écologique, nous avons essayé d'établir une corrélation avec les indices d'aptitude au développement biologique calculé sur les matières azotées (AZOT), phosphorées (PHOS) et les matières organiques et oxydables (MOOX). Une matrice de corrélation de Pearson (Tab. 4.2) est ainsi établie entre l'axe 1 de l'AFC issue des différentes techniques de prélèvement et les indices d'aptitude biologique, calculés sur deux mois précédents l'échantillonnage de macroinvertébrés (AZOT, PHOS, MOOX) puis sur l'ensemble des mesures physico-chimiques effectuées en période de crue, d'étiage et en saison des pluies (AZOT^a, MOOX^a, PHOS^a) pour mettre en évidence la capacité des macroinvertébrés à intégrer la pollution.

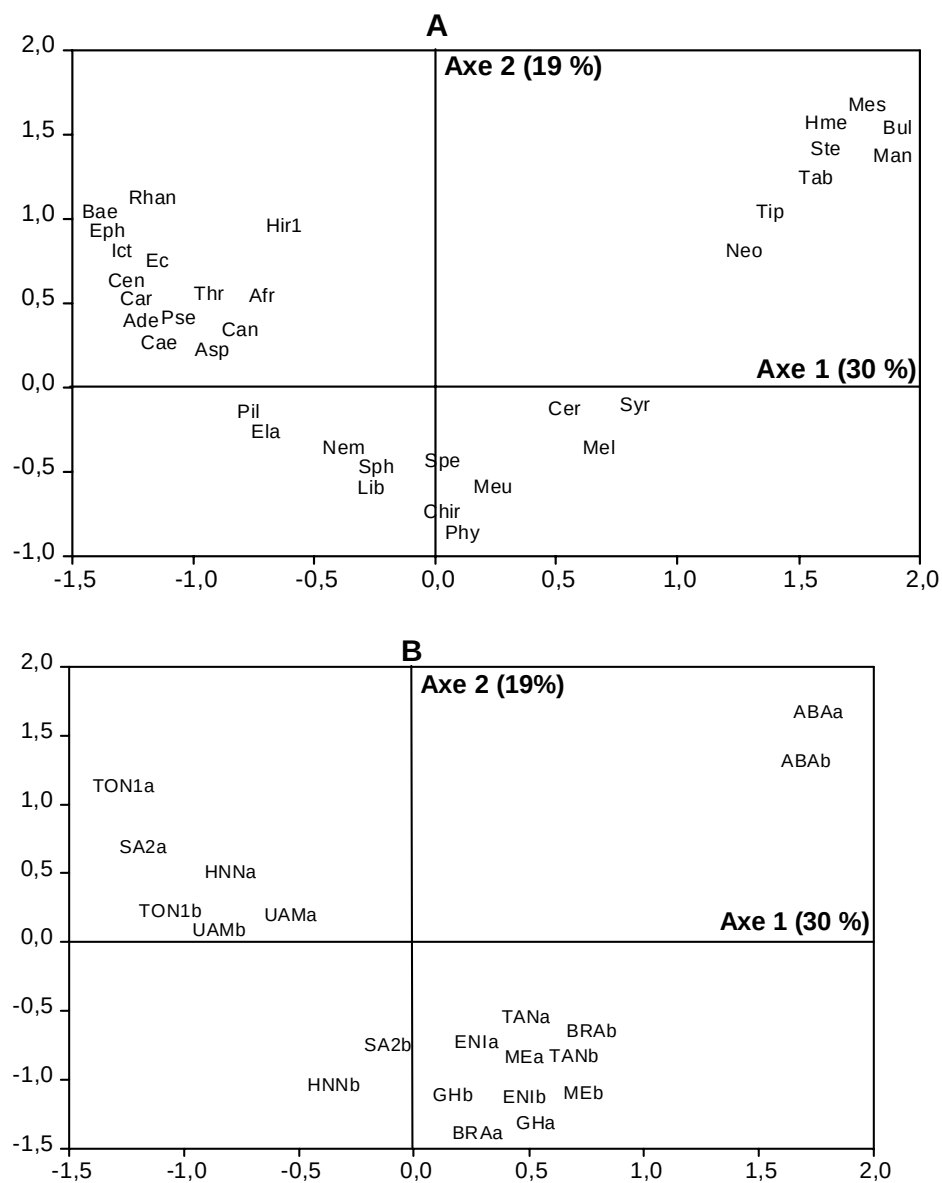


Figure 4.10 : Ordination des taxons (A) et des prélèvements (B) de macroinvertébrés effectués sur les substrats artificiels de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey dans le fleuve Niger dans le plan formé par les axes 1 et 2 de l'AFC (a = mai-juin 2004, b = avril-mai 2005 ; TAN et ME en passif).

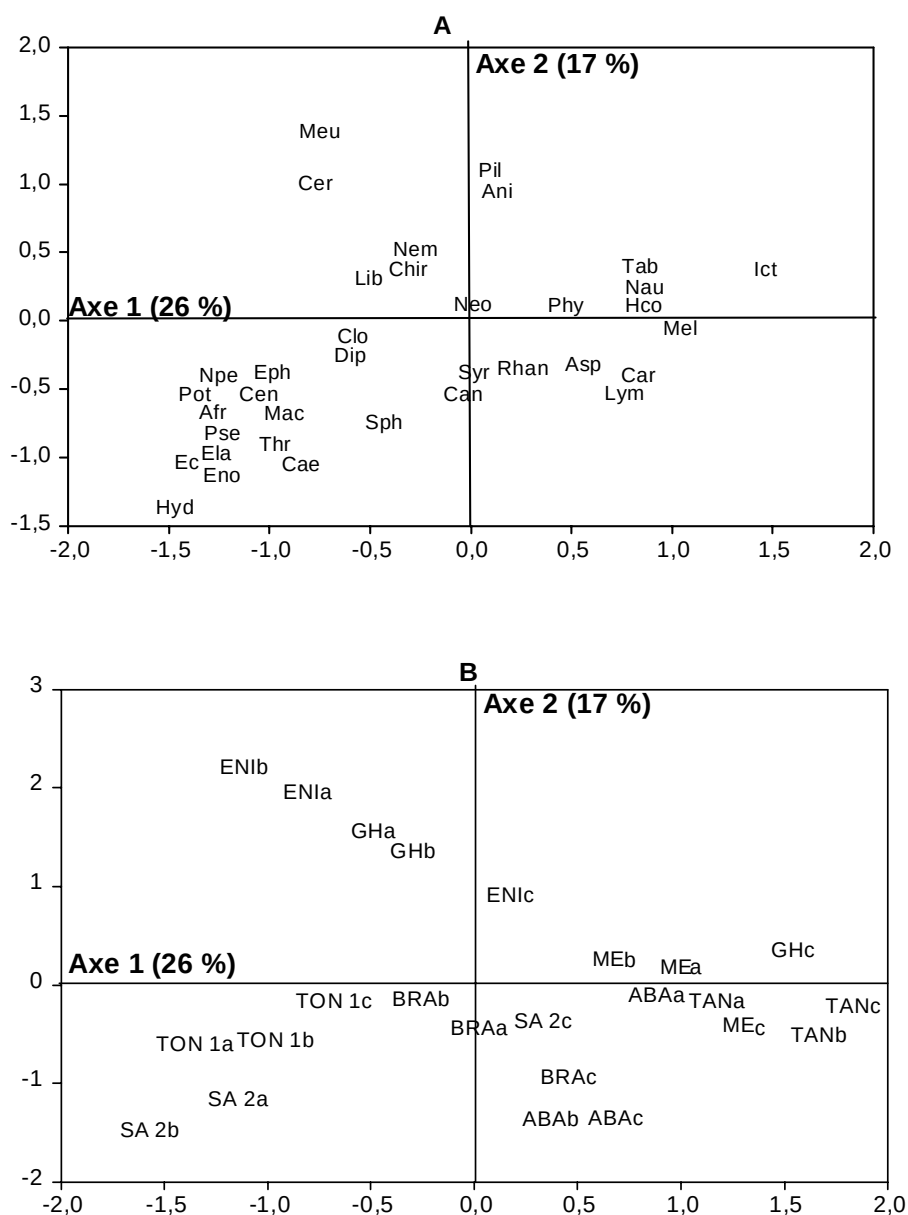


Figure 4.11 : Ordination des taxons (A) et des prélèvements (B) de macroinvertébrés effectués au filet troubleau de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey dans le fleuve Niger dans le plan formé par les axes 1 et 2 de l'AFC (a = mai 2005, b = juin 2005 et c = mars 2006).

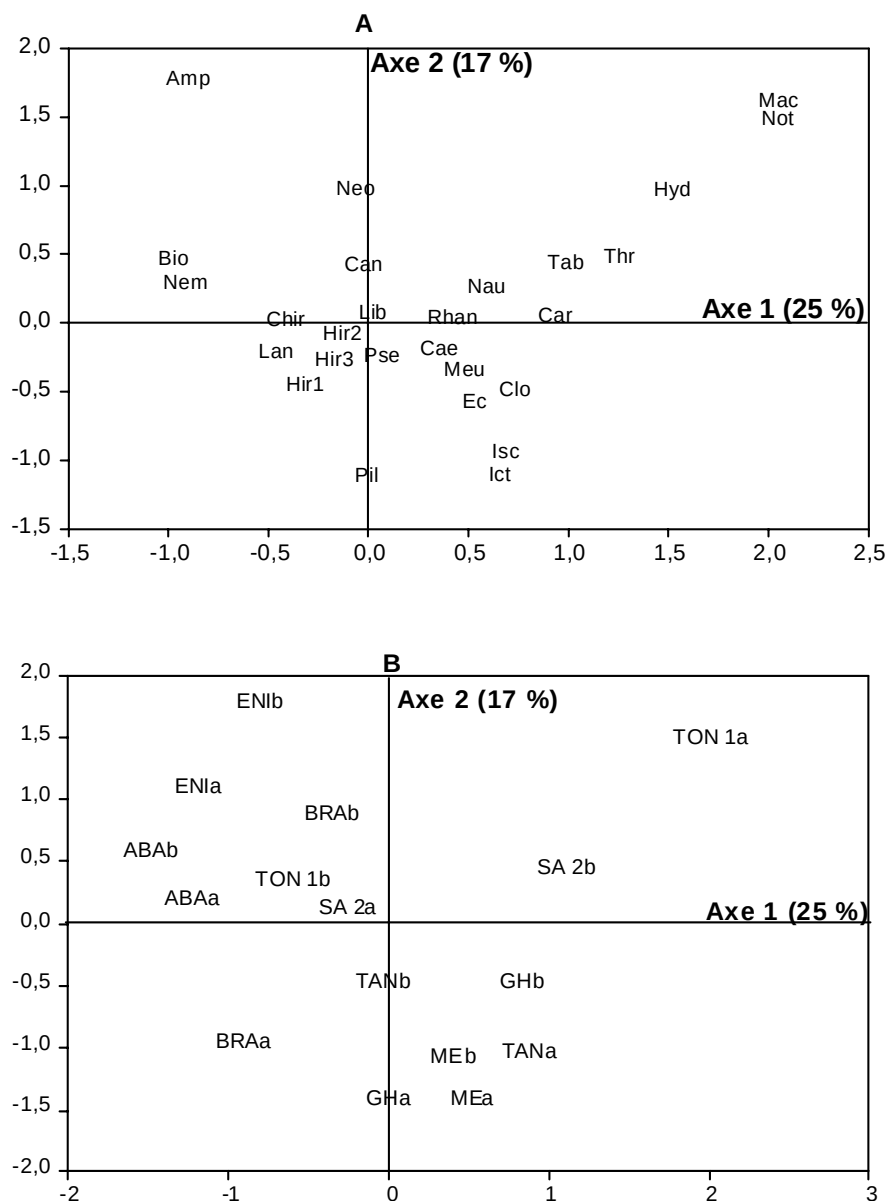


Figure 4.12 : Ordination des taxons (A) et des prélèvements (B) de macroinvertébrés effectués dans le système racinaire de la jacinthe d'eau de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey dans le fleuve Niger dans le plan formé par les axes 1 et 2 de l'AFC (a = février 2005 et b = février 2006).

Tableau 4.2 : Corrélation de l'axe 1 de l'AFC avec les indices d'aptitude biologique par technique de prélèvement (R = coefficient de corrélation de Pearson, p = probabilité, AZOT = matières azotées, PHOS = matières phosphorées, MOOX = matières organiques et oxydables, a = crue + étiage + saison des pluies).

	Substrats artificiels R (p)	Filet troubleau R (p)	Jacinthe d'eau R (p)
AZOT	0,1705 (0,596)	0,4699 (0,021)	0,0724 (0,790)
MOOX	0,021 (0,948)	0,5447 (0,006)	0,394 (0,131)
PHOS	0,3583 (0,253)	0,5443 (0,006)	-0,1095 (0,686)
AZOT^a	0,0784 (0,809)	0,8631(< 0,001)	0,4178 (0,107)
MOOX^a	0,0532 (0,870)	0,6671(< 0,001)	0,6469 (,007)
PHOS^a	-0,0897 (0,782)	0,9955 (< 0,001)	0,4747 (0,063)

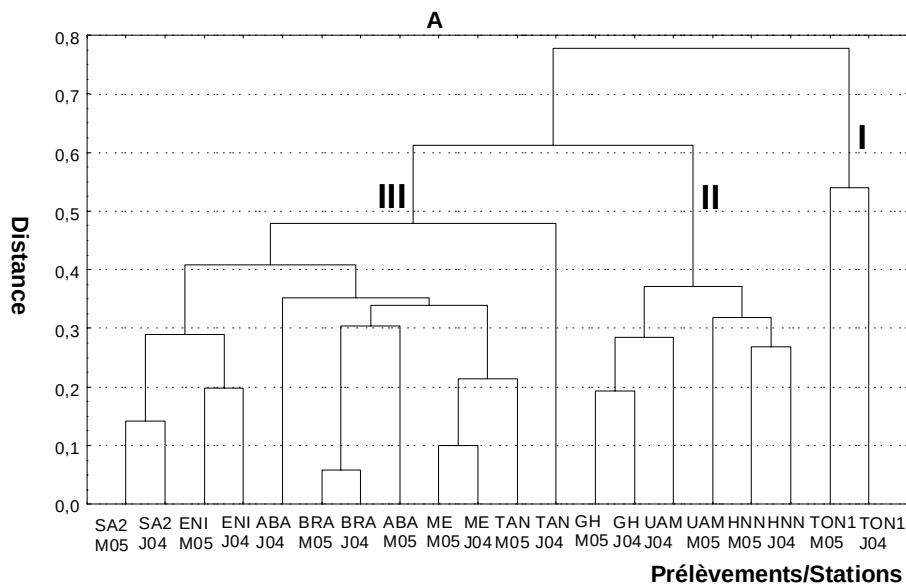
L'analyse de la corrélation de l'axe 1 de l'AFC avec les différents indices d'aptitude biologique a permis de mettre en évidence une distribution des taxons selon un gradient écologique lié :

- aux matières azotées, phosphorées, organiques et oxydables avec l'échantillonnage effectué au filet troubleau. Tous les indices sont corrélés à l'axe 1 qu'ils soient calculés sur deux mois précédents la période d'échantillonnage ou sur l'ensemble des périodes (crue + étiage + saison des pluies) ;
- et, aux matières organiques et oxydables (MOOX^a) sur la jacinthe d'eau mis en évidence uniquement avec l'indice calculé sur l'ensemble des périodes d'échantillonnage (crue + étiage + saison des pluies).

Aucun gradient écologique n'a pu être mis en évidence à partir des échantillons prélevés sur les substrats artificiels.

4.2.2.5. Classification des stations selon la distance de Bray-Curtis

La classification des stations, effectuée sur la base de la distance de Bray-Curtis calculée dans "R" à partir des valeurs logarithmiques des abondances des macroinvertébrés, permet de distinguer trois grands groupes avec les substrats artificiels, quatre grands groupes avec le filet troubleau et deux grands groupes avec la jacinthe d'eau (Fig. 4.13). Les deux premières méthodes d'échantillonnage (substrats artificiels et filet troubleau) séparent les prélèvements effectués à la station de référence (TON 1) des prélèvements effectués dans les autres stations. Les prélèvements sur la jacinthe d'eau ne permettent pas de ressortir cette différence entre la station TON 1 et les autres stations.



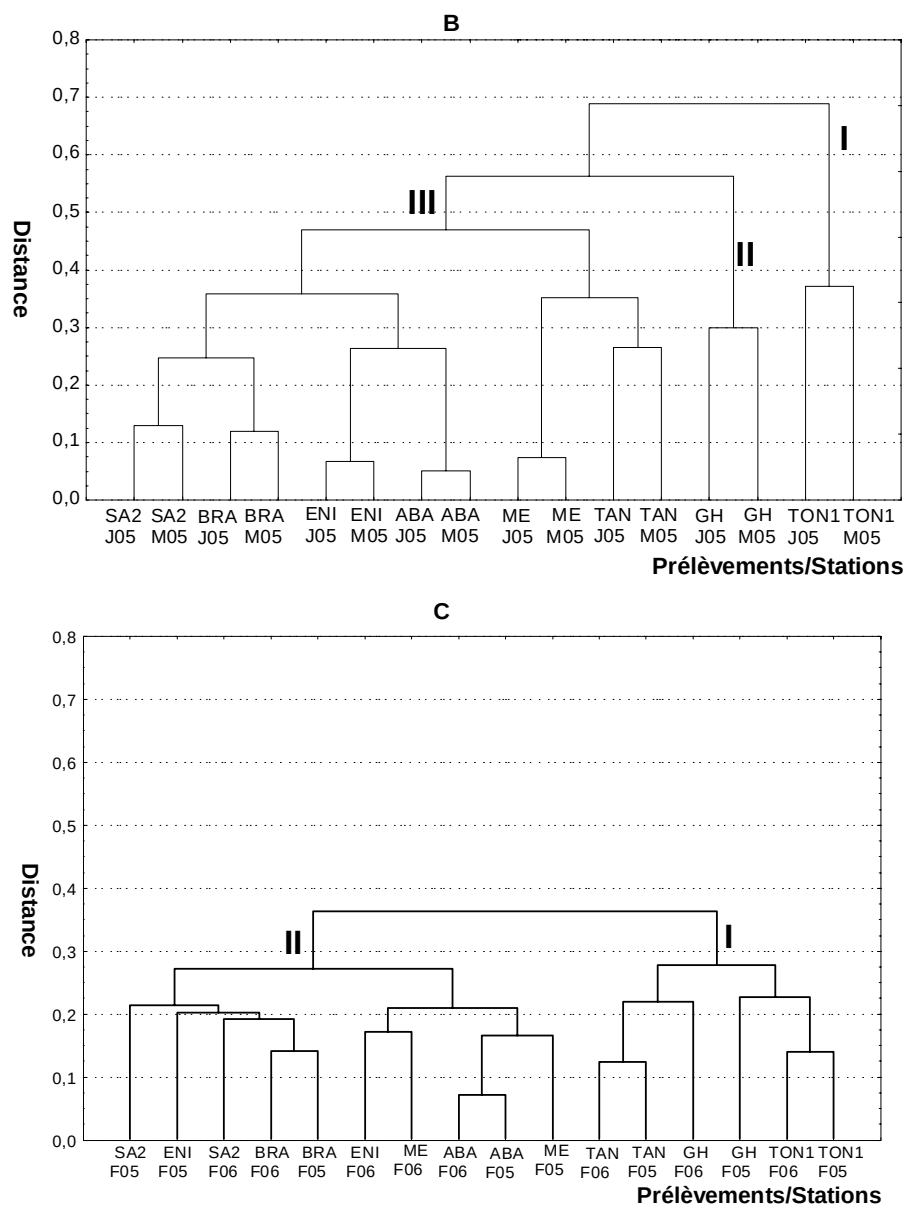


Figure 4.13 : Classification des stations en fonction de la distance de Bray-Curtis appliquée sur le logarithme des abondances taxonomiques des macroinvertébrés récoltés sur les substrats artificiels (A), au filet troubleau (B) et dans le système racinaire de la jacinthe d'eau (C) ; M = mai, J = juin, F = février.

4.2.3. Analyse de la diversité chironomidienne

Les Chironomidae constituent une famille de diptère suscitant beaucoup d'intérêts tant par sa diversité que par son intérêt écologique notamment dans l'étude des changements climatiques et environnementaux (ROSENBERG et RESH, 1993), et de la qualité des eaux des lacs et des rivières (CALLISTO *et al.*, 2002 ; EVRARD, 1996). Les connaissances taxonomique et écologique de cette famille des diptères restent encore fragmentaires (EGGERMONT et VERSCHUREN, 2003). Sa taxonomie évolue assez rapidement avec de nouvelles subdivisions liées à l'apparition au fil du temps de nouveaux taxons (VARDAL *et al.*, 2002). Les Chironomidae présentent une large distribution de part le monde (FROUZ *et al.*, 2003) et un endémisme régional. Ils sont dans la majorité des eaux douces les insectes les plus abondants. On en dénombre plus de 15 000 taxons (ARMITAGE *et al.*, 1995 In : EVRARD, 1996) à travers le monde. Ils sont assez connus dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord. DEJOUX (1984) dénombre en Afrique de l'ouest 96 espèces au Togo et Bénin et 31 espèces au Niger.

Dans ce chapitre, nous apportons une première contribution à la connaissance des Chironomidae du fleuve Niger à Niamey en République du Niger et faisons un premier pas pour son utilisation dans l'évaluation de la qualité des eaux de ce fleuve.

4.2.3.1. Diagnoses des espèces de larves de Chironomidae

Elle représente un outil pratique pouvant servir à un premier inventaire de la biodiversité chironomidienne du fleuve Niger à Niamey en l'absence d'une clé appropriée pour l'identification des Chironomidae en Afrique de l'Ouest.

Cette diagnose est essentiellement élaborée à partir des échantillons provenant du fleuve Niger à Niamey en se référant à la littérature déjà existante (EGGERMONT et VERSCHUREN, 2004a, 2004b, 2003 ; EGGERMONT *et al.*, 2005 ; EGGERMONT, 2004; WIEDERHOLM, 1983 ; MOLLER PILLOT, 1984 ; DURAND et LEVEQUE, 1981).

Elle n'est certainement pas exhaustive mais elle sera améliorée au fil du temps en poussant la détermination jusqu'à l'espèce, ce qui nécessite souvent un recours à l'élevage des larves.

4.2.3.1.1. Préparation et identification des taxons

Une fois la récolte des Chironomidae effectuée, le tri des taxons réalisé de manière minutieuse permettra une première détermination

des taxons avant de procéder à la préparation des spécimens restés inconnus.

La préparation porte sur la capsule céphalique et le corps de l'animal. La capsule céphalique est montée dans de l'euparal, la partie dorsale retournée sur la lame, puis recouverte d'une lamelle et soigneusement écrasée pour mieux observer le mentum. Quant au corps il est maintenu en position latérale. Les préparations sont observées au microscope Reichert Zetopan à interférence. Les photos ont été prises au moyen de deux vidéos caméras : une en couleur de marque JVC connectée à un ordinateur et installée sur un microscope Diaplan de marque Leitz et une autre en noir et blanc de marque IKegami installée sur un binoculaire WILD M 10 de marque Leica. La majorité des individus (63 %) a été directement identifiée sans préparation au moment du tri sous une loupe binoculaire WILD M 10 de marque Leica.

L'identification des taxons est basée sur la présence des branchies, des soies, la forme de la capsule céphalique, les yeux (forme, position, nombre de paires), le mentum, les dents mandibulaires, la forme de la plaque paralabiale et la structure des antennes.

Cette diagnose met l'accent sur les caractéristiques morphologiques ci-dessus mentionnées et son utilisation est facilitée par des illustrations fournies à partir des prises de vue. Elle ne donne pas une description détaillée des taxons mais se limite aux caractéristiques principales qui permettent une détermination des taxons au niveau générique.

4.2.3.1.2. Caractéristiques générales des larves (dénominations en Français d'après Bertrand, 1954)

Les larves de Chironomidae sont allongées (Fig. 4.14). Ils n'ont pas de pattes segmentées. La capsule céphalique est complètement développée. Le prothorax porte une paire de pseudopodes, ainsi que le dixième segment abdominal. Ce dixième segment porte également deux paires de papilles anales (organes de régulation osmotique et de respiration). Le neuvième segment abdominal porte du côté dorsal deux tubercules préanaux avec brosse de soies.

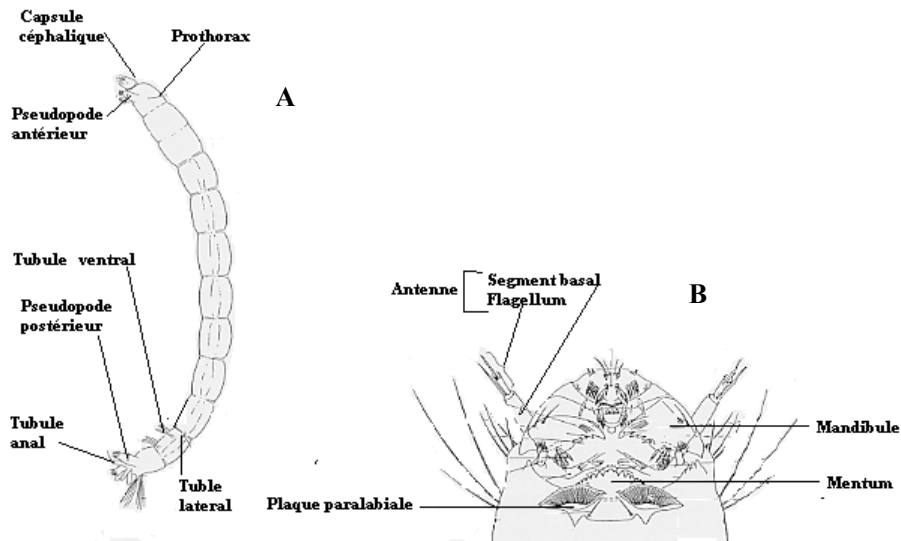


Figure 4.14 : Caractéristiques générales d'une larve de Chironomidae d'après WIEDERHOLM (1983) modifiée (A = larve, vue latérale ; B = capsule céphalique, vue ventrale).

La famille des Chironomidae comporte plusieurs sous-familles dont trois ont été trouvées dans les échantillons étudiés :

- Tanypodinae : Une tache oculaire plus ou moins réniforme de chaque côté de la tête. Tête toujours plus ou moins allongée et (sub-)triangulaire vue de côté. Tubercules préanaux fort développés et allongés. Labium sans plaques paralariales.
- Orthocladiinae : Deux taches oculaires de chaque côté de la tête, l'inférieure placée plus en avant que la supérieure. Tête assez trapue, rarement très allongée. Tubercules préanaux peu développés ou assez courts. Labium avec plaques paralariales non-striées.
- Chironominae : Deux taches oculaires de chaque côté de la tête, l'un en dessous de l'autre. Tête trapue, rarement allongée. Tubercules préanaux peu développés ou assez courts. Labium avec plaques paralariales striées.

4.2.3.1.3. Caractéristiques des espèces

Les diagnoses qui suivent sont élaborées d'après les larves du quatrième stade (= dernier stade larvaire). Les larves du troisième

stade peuvent être identifiées avec ces diagnoses en tenant compte que les proportions des segments des antennes sont différentes.

- *Ablabesmyia* sp. :

Une larve appartenant à la sous-famille des Tanypodinae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.15) : Capsule céphalique allongée, 2 fois aussi long que large ; les bords latéraux, par vue dorsale, un peu anguleux postérieurement. Le corps non particulièrement «poilu». Deux crochets bruns au pseudopode postérieur.

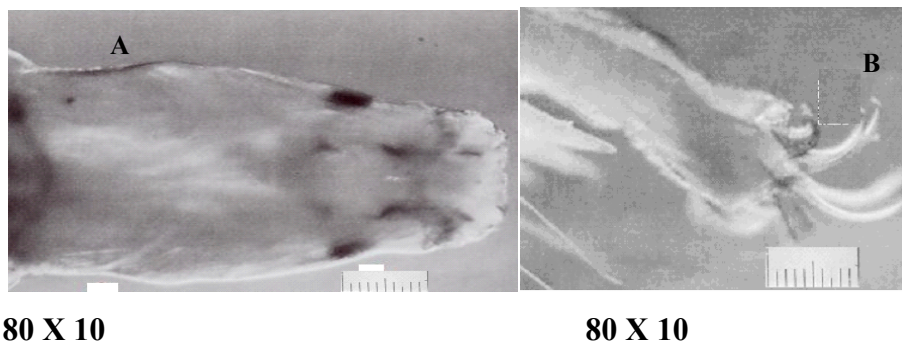


Figure 4.15 : *Ablabesmyia* sp. (A= capsule céphalique anguleuse ; B = pseudopode postérieur ; échelle sur la photo = 1 mm).

- Cf. *Procladius* sp. :

Une larve appartenant à la sous-famille des Tanypodinae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.16) : Capsule céphalique trapue, c'est-à-dire longueur moins que 1,5 fois la largeur. Glossa à cinq dents noirâtres avec le bord antérieur concave. Franges latérales de soies aux segments abdominaux 1 à 7 (chez *Procladius* 1 à 6).

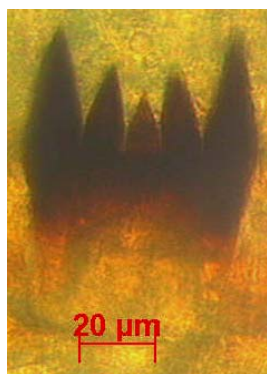


Figure 4.16 : Cf. *Procladius* sp. (Mentum)

- *Clinotanypus* sp. :

Une larve appartenant à la sous-famille des Tanypodinae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.17) : Capsule céphalique allongée, c'est-à-dire longueur ± 2 fois la largeur. Antennes longues, c'est-à-dire longueur $\pm 2/3$ de la longueur de la tête. Franges latérales de soies aux segments abdominaux 1 à 7.

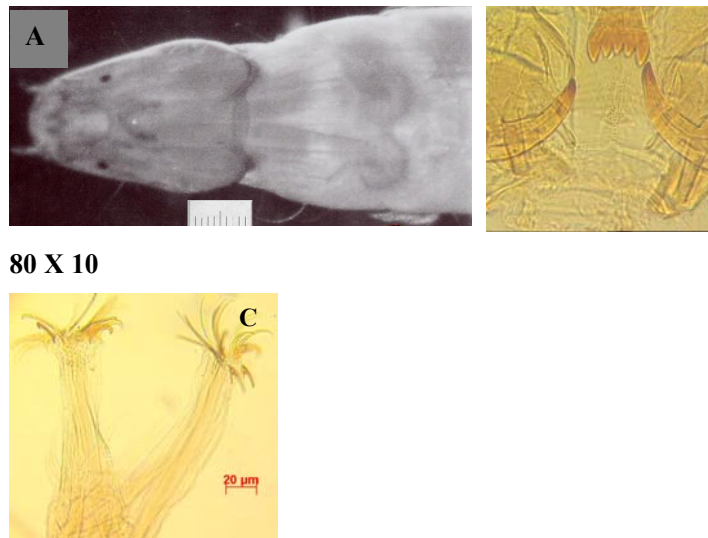


Figure 4.17 : *Clinotanypus* sp. (A = Capsule céphalique plus franges de soies sur le corps, B = mentum, C = pseudopodes postérieurs, échelle sur la photo = 1 mm)

- Micropelopiinae sp. :

Une larve appartenant à la sous-famille des Tanypodinae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.18) : Capsule céphalique allongée, 2 fois aussi longue que large. Tout le corps «poilu» de longues soies, plus longues que le diamètre du segment et bien visibles (par exemple 10 sur le prothorax), mais pas de franges latérales de soies. Plusieurs crochets brunâtres à chaque pseudopode postérieur. Glossa à cinq dents noirâtres avec le bord antérieur concave.



50 X 10

Figure 4.18 : Micropelopiinae sp. (A = capsule céphalique ; B = soies sur le corps ; échelle sur la photo = 1 mm).

- Orthocladiinae sp. :

Une larve appartenant à la sous-famille des Orthocladiinae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.19) : Forme du labium triangulaire, avec une dent médiane large (largeur des latérales 1 à 3 réunies) et arrondie, et six dents latérales sub-égales, pointues vers l'intérieur. Plaque paralabiale non-développée (?). Mandibule avec une dent terminale bien développée, pointue et noirâtre et quatre dents intérieures pointues et noirâtres, dont la quatrième est plus importante que les autres, mais fusionnée avec le corps de la mandibule.

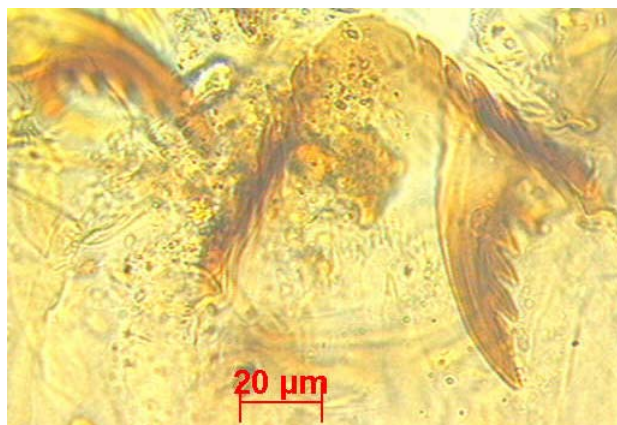


Figure 4.19 : Orthocladiinae sp. (mentum)

- Chironomini sp.1 :

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.20) : Antennes à six segments (proportion de la longueur des segments 1 à 6 = 8-3-4-2-4-1) ; un organe de Lauterborn au bout du segment 2 et un au bout du segment 3). Labium fort coloré ; la dent médiane trilobée (la première latérale complètement fusionnée avec la médiane) ; la taille des dents latérales 2 à 7 diminue progressivement.

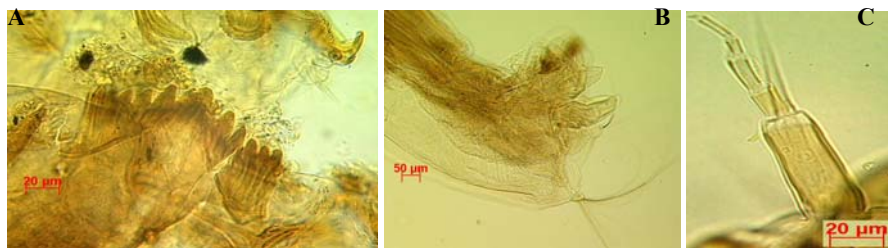


Figure 4.20 : *Chironomini* sp. 1 (A = structure du mentum ; B = papilles anales ; C = antenne)

- Chironomini sp.2 :

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.21) : Antennes très caractéristiques et uniques pour un chironome, c'est-à-dire à quatre segments, avec un organe de Lauterborn dans la partie inférieure, à un tiers de la hauteur du segment 2 et un subterminal sur le même segment (le segment 3 originel, extrêmement petit, semble fusionné avec le segment 2). Labium avec deux dents médianes et six dents latérales ; toutes les dents pointues et diminuant progressivement en taille vers l'extérieur.

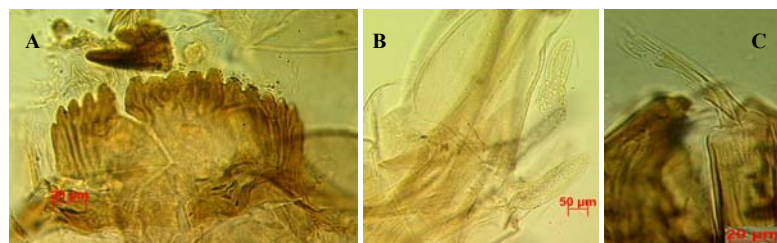


Figure 4.21 : *Chironomini* sp. 2 (A = structure du mentum ; B = papilles anales ; C = antennes).

- *Chironomus gr. plumosus* :

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.22) : Deux paires de branchies ventrales très allongées au huitième segment abdominal. Une paire de branchies latérales au bout du septième segment.

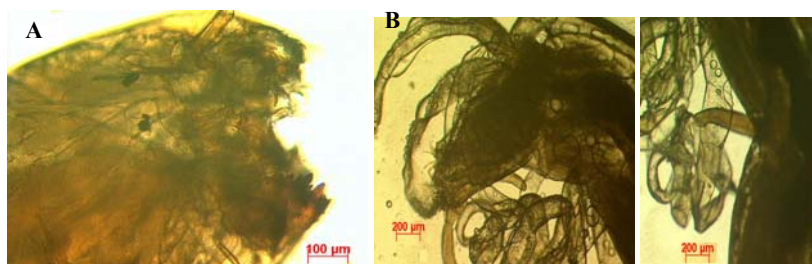


Figure 4.22 : *Chironomus gr. plumosus* (A = capsule céphalique ; B = papilles anales ; C = papilles anales et ventrales)

- *Cryptochironomini* sp.

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.23) : Labium plus ou moins rectiligne, la partie médiane peu saillante. La dent médiane large et claire. La première dent latérale, foncée, collée contre la médiane. La dent médiane avec les deux latérales 1, très large, c'est-à-dire plus large que les dents latérales 2 à 4 réunies (d'un côté). Plaques paralabiales larges et s'amincissant vers extérieur. Les dents latérales 2 à 4 carrées et sub-égales. Les dents latérales 5 à 7 formant un groupe dont la 6 est grande, saillante et pointue ; 5 et 7 à peine visibles. Antenne avec cinq segments ; le premier segment plus long que le flagellum (segments 2 à 5 réunis) ; segment 2 large et trapu ; chète implanté au milieu du segment 2. Segment 3 svelte et aussi long que le 2. Segments 4 et 5 minuscules.

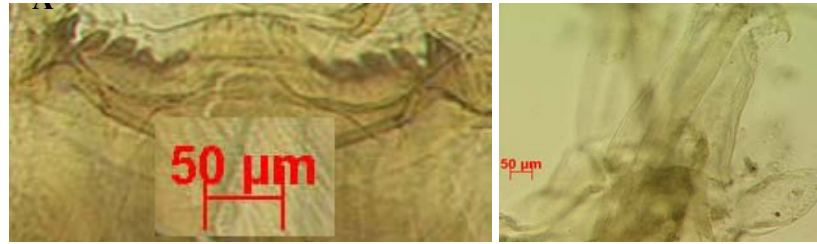


Figure 4.23 : *Cryptochironomini* sp. (A = structure du mentum ; B = papilles anales).

- *Cryptochironomus* sp. 1:

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.24) : Labium concave. La dent médiane claire. La première dent latérale, foncée, collée contre la médiane. La dent médiane avec les deux latérales 1, relativement étroite, c'est-à-dire plus ou moins la largeur des dents latérales 2 à 4 réunies (d'un côté). Plaques paralabiales larges et s'amincissant vers l'extérieur. Les dents latérales 2 à 7 pointues ; les dents 2 à 4 sub-égales, la taille des dents 4 à 7 diminuant progressivement : la ligne antérieure formée par la pointe des dents latérales 2 à 7 légèrement convexe. Antennes avec cinq segments ; le premier segment un peu plus court que la longueur du flagellum (segments 2 à 5 réunis) ; segment 3 un rien plus long que le 2 ; segments 4 et 5 minuscules. Chète de l'antenne inséré sur le côté distale du segment 2.



Figure 4.24: *Cryptochironomus* sp.1 (A = tâche blanche au mentum ; B = papilles anales ; C = antennes)

- *Cryptochironomus* sp. 2:

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.25) : Labium concave. La dent médiane claire. La première dent latérale, foncée, collée contre la médiane. La dent médiane avec les deux latérales 1, relativement large, c'est-à-dire plus large que les dents latérales 2 à 4 réunies (d'un côté). Plaques paralabiales larges et s'amincissant vers le côté extérieur. Les dents latérales 2 à 4 pointues ; les dents 2 et 3 sub-égales, les 4 à 7 diminuant progressivement ; la pointe des dents 5 à 7 tronquée ; les dents 6 et 7 plus ou moins fusionnées à leur base. La ligne antérieure formée par la pointe des dents latérales 2 à 7 presque rectiligne. Antennes avec cinq segments ; le premier segment aussi long que le flagellum (segments 2 à 5 réunis) ; segment 3 un rien plus long que le 2 ; segments 4 et 5 minuscules. Chète de l'antenne inséré sur le côté distale du segment 2.

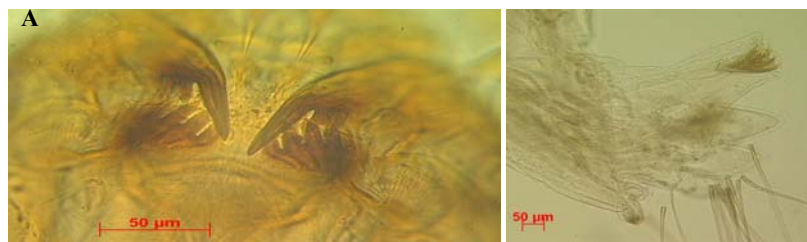


Figure 4.25 : *Cryptochironomus* sp.2 (A = structure du mentum ; B = papilles anales)

- *Dicrotendipes* sp. :

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.26) : La plaque frontale (frontal apotome) à bord antérieur creux et avec des bourrelets. Les dents du labium pointues et colorées. La dent médiane simple. Six dents latérales de chaque côté ; la latérale 1 aussi haute que la médiane ; la latérale 2 beaucoup plus petite et fusionnée à la base de la latérale 1 ; les 3 à 6 plus petites que la 1 et diminuant en taille vers l'extérieur. Plaque paralabiale assez étroite, fort striée et à bord antérieur crénelé.

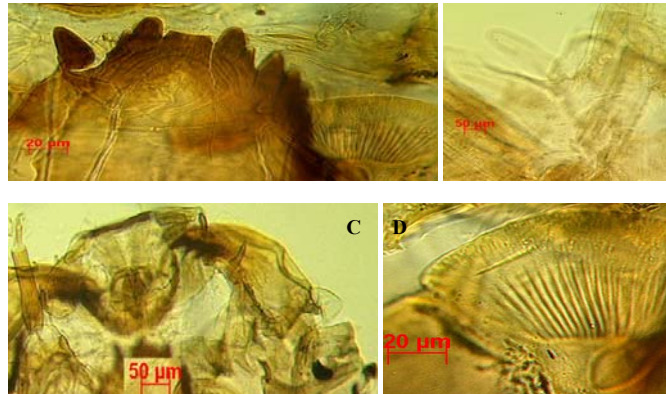


Figure 4.26 : *Dicrotendipes* sp. (A = structure du mentum ; B = papilles anales ; C = antenne ; D = plaque paralabiale).

- *Glyptotendipes* sp. :

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.27) : Tête forte et trapue, assez fort colorée. Insertion de la cuticule sur la capsule céphalique bien devant le bord occipitale (une bande postérieure de la capsule céphalique est interne). La plaque frontale (frontal apotome) à bord antérieur creux. Une paire de branchies ventrales à la partie postérieure du huitième segment abdominal.

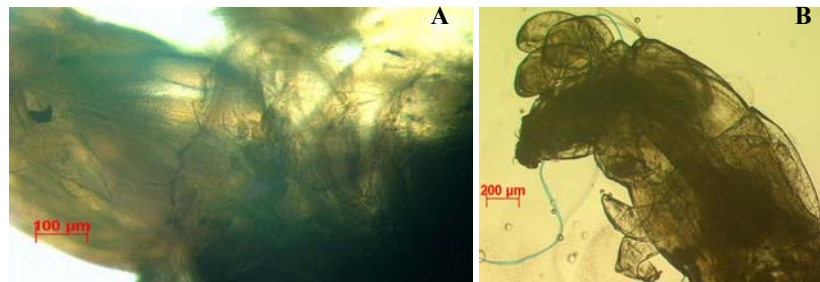


Figure 4.27 : *Glyptotendipes* sp. (A = enchevêtrement de la peau sur la capsule céphalique ; B = papilles anales et ventrales)

- *Microchironomus* sp. :

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.28) : Labium coloré, avec une dent médiane trilobée et pointue (les trois lobes sont pointus). Les six dents latérales pointues ; la quatrième et la sixième beaucoup plus petites que la cinquième, qui a la même taille que la troisième. Les deux dents latérales de la mandibule non-saillantes et plutôt carrées. La petite taille de la larve, dont le corps s'amincit vers l'arrière et le thorax verdâtre sont des caractéristiques qui facilitent l'identification.

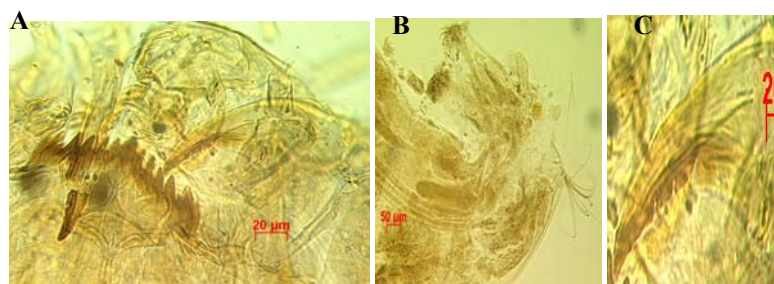


Figure 4.28 : *Microchironomus* sp. (A = structure du mentum ; B = papilles anales ; C = mandibules à dents carrées)

- *Nilodosis* sp. :

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.29) : Tête brunâtre et allongée ; la partie antérieure, au niveau du labre, tronquée et anguleuse vue de dessus ; vue de côté, en forme de coin et s'amincissant vers l'avant. Labium concave, c'est-à-dire la partie médiane plus profonde que les deux côtés latéraux, dont le bout des dents forment une courbe convexe. La double dent médiane un peu plus claire que les sept dents latérales. La latérale 4 est la plus grande et la taille des latérales diminue progressivement vers l'intérieur et l'extérieur à partir de la 4. Tubercules préanaux développés et plus longs que larges. Papilles anales longues et étranglées au milieu. Les deux dernières caractéristiques ont été utilisées pour faciliter la séparation des espèces.

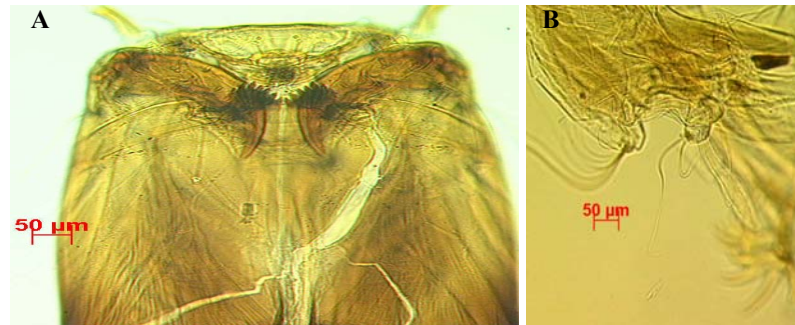


Figure 4.29 : *Nilodosia* sp. (A = capsule céphalique avec mentum fortement coloré ; B = papilles anales).

- *Parachironomus* sp. :

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.30) : Capsule céphalique claire, non sclérosée. La tache oculaire inférieure dédoublée, c.-à-d. une petite tache oculaire supplémentaire au-dessus et contre le devant de la tache oculaire inférieure. Plaque paralabiale assez étroite ; le bord antérieur denté de quelques pointes aiguës ; lobe extérieur de la base de la plaque fort développé vers l'arrière et avec des stries recourbées vers l'avant. Labium clair ; la dent médiane simple et pointue ; 7 dents latérales pointues.

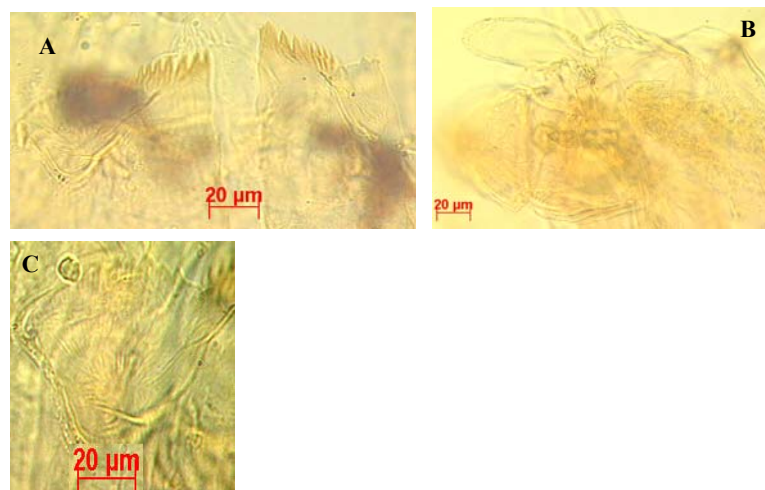


Figure 4.30 : *Parachironomus* sp. (A = structure du mentum ; B = papilles anales ; C = plaque paralabiale).

- *Polypedilum* spp. 1 :

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.31) : Antenne à 5 segments. Labium à deux dents médianes et à 7 dents latérales, toutes pointues et formant une rangée un peu courbée. La latérale 2 aussi haut que la médiane. La latérale 1 petite, n'atteignant que la mi-hauteur de la latérale 2. Les latérales 3 à 7 diminuant progressivement en taille vers l'extérieur.

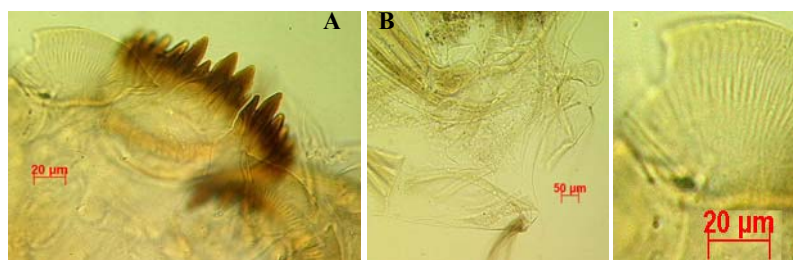


Figure 4.31 : *Polypedilum* spp 1. (A = structure du mentum ; B = papilles anales ; C = plaque paralabiale)

- *Polypedilum* spp.2 :

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.32) : Antenne à 5 segments. Labium à deux dents médianes et à 7 dents latérales, toutes pointues et formant une rangée un peu courbée. La latérale 2 aussi haut que la médiane. La latérale 1 un rien plus petit que la médiane. Les latérales 3 à 7 diminuant progressivement en taille vers l'extérieur.

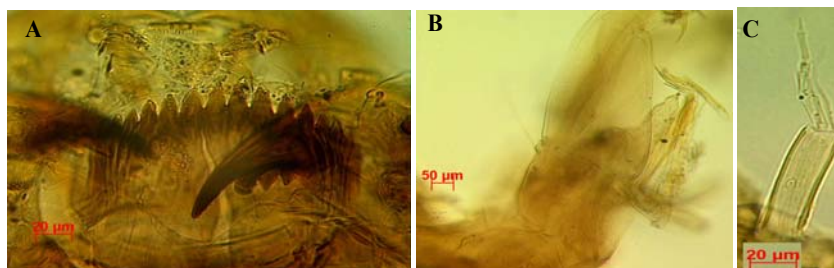


Figure 4.32 : *Polypedilum* spp. 2 (A = structure du mentum ; B = papilles anales ; C = antenne).

- *Xenochironomus* sp. :

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 4.33): Tête assez étroite, surtout vers l'avant. La tache oculaire inférieure plus grande et assez près de la supérieure. Touffe de lamelles sur le labre (seulement visible quand le labre est étendu). Labium très typique et unique : une dent médiane simple, bien développée mais placée dans une dépression dans laquelle se trouve également la latérale 1, très petite et orientée vers la latérale 2. La latérale 2 un peu plus étroite que la dent médiane, mais placée plus haut et dépassant toutes les autres dents. La latérale 3 petite et collée contre la 2. Les latérales 4 à 8 assez petites et diminuent en taille vers l'extérieur.

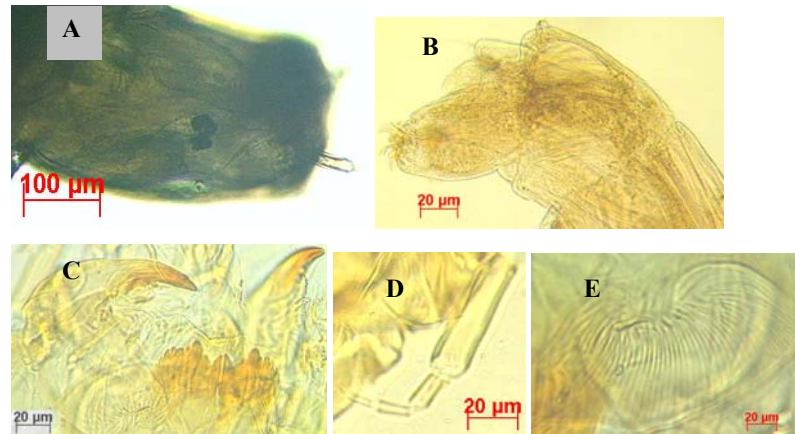


Figure 4.33: *Xenochironomus* sp. (A = capsule céphalique plus une paire des yeux ; B = papilles anales, C = mentum, D = antenne, E = plaque paralabiale)

- *Tanytarsini* spp. :

Une larve appartenant à la sous-famille des Chironominae avec les caractéristiques suivantes (Fig. 34): Antenne sur un socle bien développé, plus long que large. Plaques paralabiales basses et très larges. Plusieurs genres sont présents dans les échantillons.

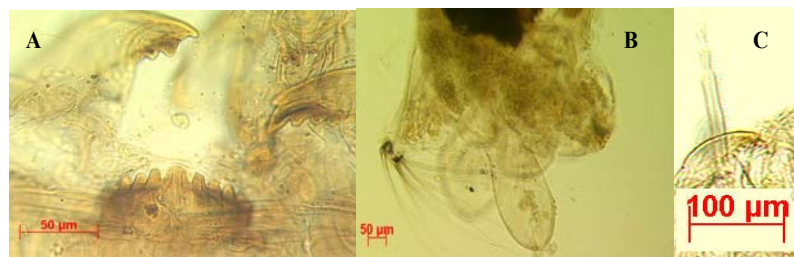


Figure 4.34 : Tanytarsini spp. (A = structure du mentum ; B = papilles anales ; C = antennes).

4.2.3.2. Structure des communautés

4.2.3.2.1. Richesse taxonomique

Un total de 11 292 individus a été récolté parmi lesquels on dénombre 20 taxons (*Chironomus* sp., *Xenochironomus* sp., *Microchironomus* sp., *Cryptochironomus* sp. 1, *Cryptochironomus* sp. 2, *Parachironomus* sp., *Chironomini* sp. 1, *Chironomini* sp. 2, *Dicrotendipes* sp., *Polypedilum* spp. 1, *Polypedilum* spp. 2, *Nilodosis* sp., *Cryptochironomini* sp., *Tanytarsini* spp., *Glyptotendipes* sp., *Micropelopiinae* sp., *Clinotanypus* sp., Cf. *Procladius* sp., *Orthocladiinae* sp. et *Ablabesmyia* sp.) dont 59 % de l'espèce *Chironomus* sp. Linnaeus (1758) et 18 % de l'espèce *Microchironomus* sp. Kieffer (1918). Les proportions des autres espèces varient de 0,01 à 7 %. La répartition des taxons en sous-familles donne 16 taxons appartenant aux Chironominae, 3 taxons aux Tanypodinae et 1 taxon aux Orthocladiinae.

L'analyse de la richesse taxonomique par technique de prélèvement montre une variation entre 1 et 12 du nombre de taxons dans les prélèvements au filet troubleau et de 1 à 8 sur les substrats artificiels, tandis que sur la jacinthe d'eau, le nombre de taxons varie de 2 à 6 (Fig. 4.35). Quant à la richesse taxonomique totale apportée par les trois techniques d'échantillonnage, elle varie de 2 à 16 selon les stations.

La comparaison des techniques d'échantillonnage montre une différence de 10 taxons entre la richesse taxonomique totale sur l'ensemble des stations de prélèvement apportée par le filet troubleau et celle apportée par la jacinthe d'eau. Elle est de 11 taxons entre la jacinthe d'eau et les substrats artificiels. La jacinthe d'eau n'apporte

aucun taxon supplémentaire par rapport au filet troubleau et aux substrats artificiels. Entre le filet troubleau et les substrats artificiels, la différence de la richesse taxonomique totale sur l'ensemble des stations de prélèvement est de 9 taxons.

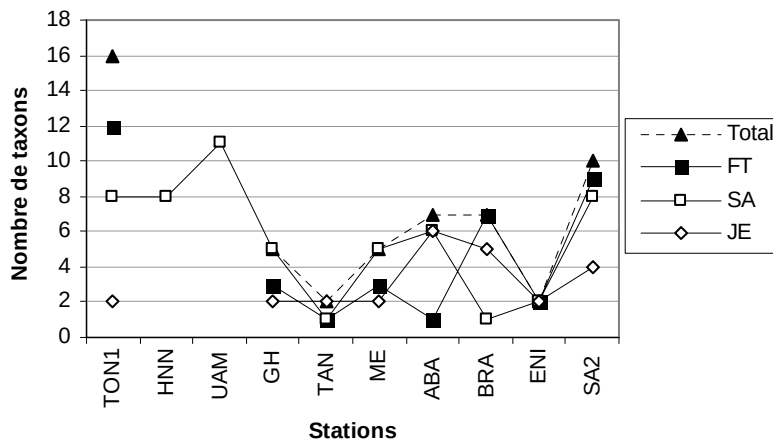


Figure 4.35 : Variation de la richesse taxonomique des chironomides du fleuve Niger de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey sur l'ensemble des prélèvements et par technique d'échantillonnage.

4.2.3.2.2. Indices de diversité et d'équitabilité de Shannon-Weaver

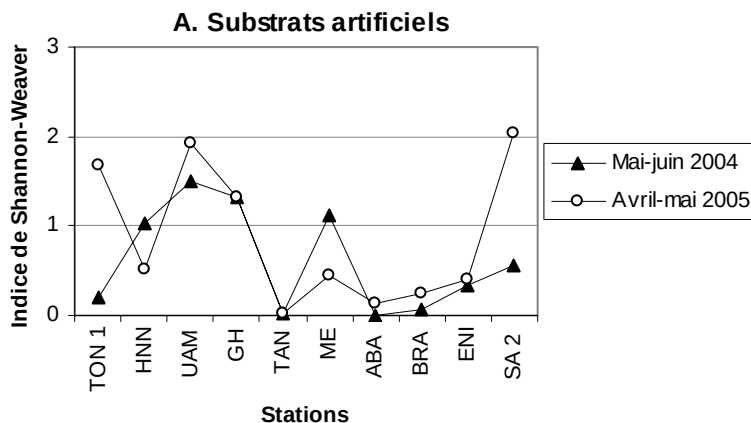
L'indice de diversité calculé à partir des données sur les substrats artificiels est compris entre 0 et 2. Il est compris entre 1 et 2 à TON 1 (mai 2005), UAM, GH, ME (juin 2004), ENI (mai 2005) et ENI (mai 2005). Il est inférieur à un pour le reste des prélèvements (Fig. 4.36A). Il traduit ainsi une diversité faible à passable des chironomides. Les taxons sont inégalement répartis dans l'ensemble des prélèvements. L'indices d'équitabilité de Shannon est supérieur à 0,50 (avec un maximum de 0,68) à TON 1 (mai 2005), UAM (mai 2005), GH et SA 2 (mai 05). Il est inférieur à 0,50 avec des valeurs souvent nulles pour le reste des prélèvements (Fig. 4.37A).

La diversité chironomidienne récoltée au filet troubleau est également faible comme le reflète l'indice de diversité de Shannon-Weaver compris entre 0 et 2. Il est supérieur à 1 à TON 1, BRA (en juin 2005) et à SA 2 (mai 2005, mars 2006). Il prend la valeur 0 en mars 2006 à GH, ABA et BRA puis à TAN pour tous les échantillonnages (Fig

4.36B.). L'indice d'équitabilité est supérieur à 0,5 pour les stations GH (mai-juin 2005), ME (juin 2005), BRA (juin 2005), ENI (mai 2005) et SA 2 (mars 2006). Le maximum atteint est 0,63. Il est inférieur à 0,5 pour le reste des prélèvements (Fig. 4.37B) avec une valeur 0 à GH (mars 2006), TAN, ME (mars 2006), ABA et BRA (mars 2006).

La diversité chironomidienne sur le système racinaire de la jacinthe d'eau est globalement très faible sur l'ensemble des stations d'échantillonnage du fleuve Niger à Niamey (Fig. 4.36C). L'indice de diversité de Shannon-Weaver est toujours inférieur à 1 sauf à ABA où il se situe entre 1 et 2 en février 2006. Il traduit ainsi une mauvaise aptitude des chironomides à s'y développer dans le système racinaire de la jacinthe d'eau malgré une nette amélioration de la qualité des eaux par dilution en hautes eaux.

L'indice d'équitabilité de Shannon est supérieur à 0,5 à GH en février 2005 puis à ABA, BRA et SA 2 en février 2006, mais il ne dépasse pas 0,66 (Fig. 4.37C). Il fournit la preuve d'une répartition inéquitable des taxons au sein des prélèvements et des stations.



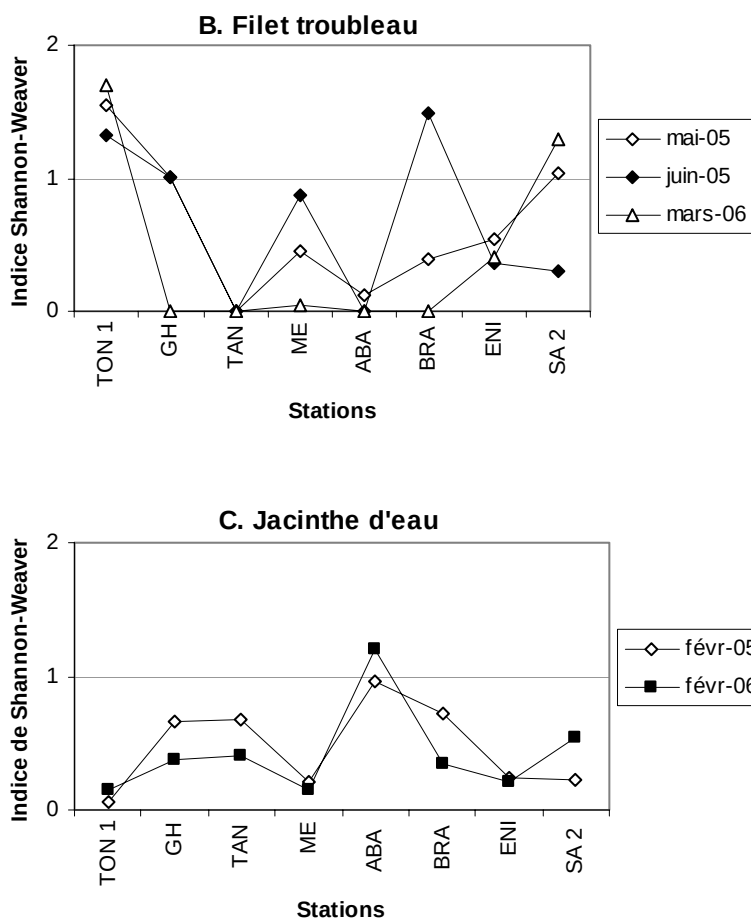


Figure 4.36 : Variation de la diversité des chironomides du fleuve Niger de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey par prélèvement et par technique d'échantillonnage.

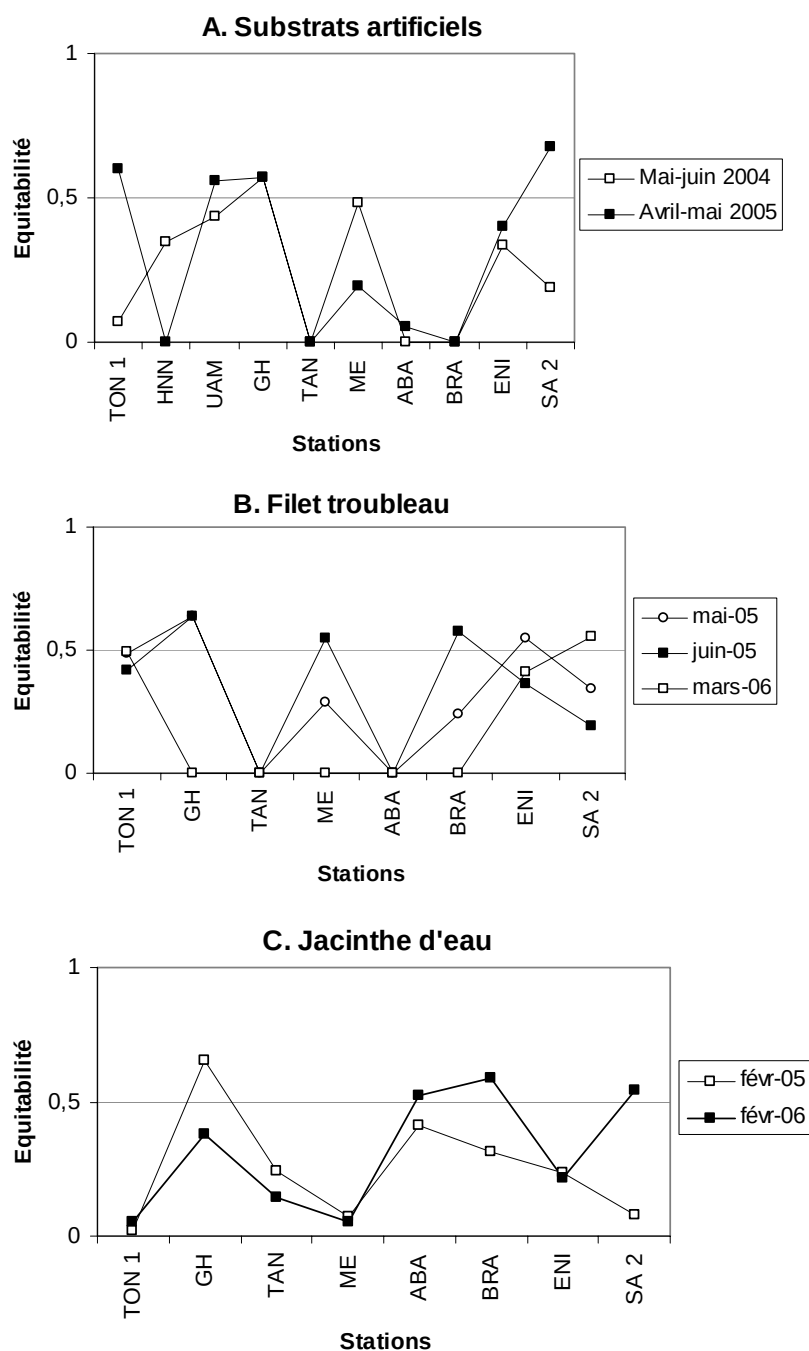


Figure 4.37 : Variation de l'indice d'équitabilité de Shannon par technique d'échantillonnage de chironomides et par prélèvement effectué de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey dans le fleuve Niger.

4.2.3.2.3. Distribution des chironomides le long des stations de prélèvement

L'analyse factorielle de correspondance a permis d'établir à partir de l'abondance taxonomique des chironomides échantillonnés sur les substrats artificiels 2 grands groupes de stations le long de l'axe 1. Ce dernier explique 39 % de la variabilité observée alors que l'axe 2 en explique 19 % soit au total 58 % de la variabilité expliquée par les deux axes.

Le premier groupe de stations est composé de TON 1, SA 2 et UAM et le deuxième groupe de GH, TAN, ME, ABA, BRA et ENI. Les prélèvements effectués à HNN en 2004 se trouvent de part et d'autre de ces groupes (Fig. 4.38B).

Le premier groupe de stations est composé de taxons comme *Tanytarsini* spp., *Chironomini* sp. 1, *Ablabesmyia* sp., *Polypedilum* spp. 1, *Micropelopiinae* sp., *Cryptochironomus* sp. 2, *Dicrotendipes* sp., *Cryptochironomus* sp. 1, *Nilodosis* sp. et *Orthoclaadiinae* sp.

Micropelopiinae sp., *Cryptochironomus* sp. 2, *Dicrotendipes* sp., *Cryptochironomus* sp. 1 et *Nilodosis* sp. sont exclusivement récoltés à UAM à l'exception de *Micropelopiinae* sp. qui est aussi présent à TON 1, tandis que *Orthoclaadiinae* sp. est uniquement récolté à TON 1 (Fig. 4.38A).

Le deuxième groupe de stations est composé de *Chironomus* gr. *Plumosus*, *Polypedilum* spp. 2, *Glyptotendipes* sp., *Parachironomus* sp., *Microchironomus* sp. et *Chironomini* sp. 2.

Chironomus gr. *plumosus* est signalé dans toutes les stations de prélèvement sauf à TON 1. Il est aussi le seul taxon présent à TAN, ABA et BRA.

Polypedilum spp. 2 et *Glyptotendipes* sp. sont présents à GH. Un de ces taxons, *Polypedilum* spp. 2 est rencontré aussi à TON 1.

Parachironomus sp., *Microchironomus* sp. et *Chironomini* sp. 2. sont récoltés à HNN, GH, ME et ENI. *Microchironomus* sp. est aussi échantillonné à TON 1, UAM et SA 2 et *Chironomini* sp. 2 à UAM.

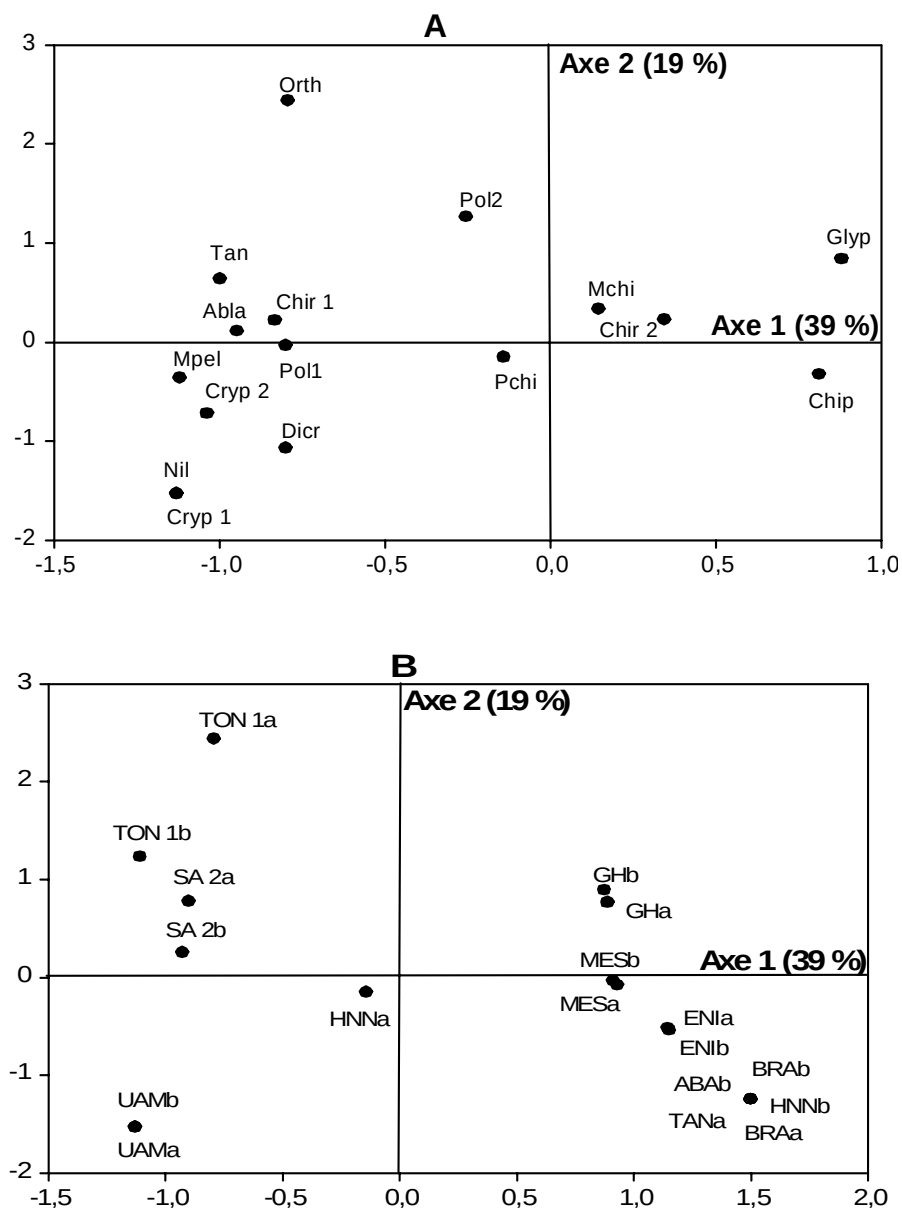
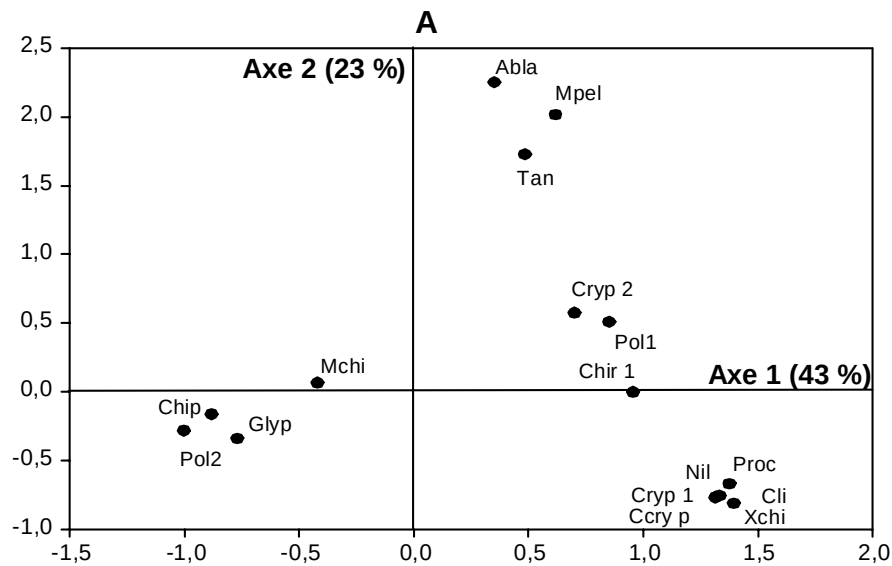


Figure 4.38 : Ordination des taxons (A) et des prélèvements (B) de chironomides effectués sur les substrats artificiels de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey dans le fleuve Niger dans le plan formé par les axes 1 et 2 de l'AFC (a = mai-juin 2004, b = avril-mai 2005).

L'analyse factorielle de correspondance réalisée sur les abondances de Chironomidae échantillonnés au filet troubleau permet de définir quatre groupes taxonomiques dans le plan des deux premières composantes (axes 1 et 2). Ces dernières expliquent 66 % de la variabilité observée dont 43 % expliqués par l'axe 1 et 23 % par l'axe 2 (Fig. 4.39). Positivement à l'axe 1 se situe le groupe taxonomique composé de *Xenochironomus* sp., *Nilodosis* sp., *Clinotanytus* sp., Cf. *Procladius* sp., *Cryptochironomus* sp. 1 et *Cryptochironomini* sp. Ces taxons sont essentiellement présents à TON 1, station située en amont de tous les points de rejets de la ville de Niamey. A l'opposé de ce groupe taxonomique, se trouvent *Microchironomus* sp., *Chironomus* gr. *plumosus*, *Glyptotendipes* sp. et *Polypedilum* spp. 2 appartenant principalement au groupe de stations composé de GH, TAN, ME, ABA et ENI. On trouve également *Chironomus* gr. *plumosus* à BRA, *Microchironomus* sp. à TON 1 et SA 2. Le groupe taxonomique composé de *Cryptochironomus* sp. 2, *Polypedilum* spp.1, *Chironomini* sp.1, *Ablabesmyia* sp., *Micropelopiinae* sp. et *Tanytarsini* spp. se répartissent dans les groupes de stations composés de TON1, BRA et SA 2.



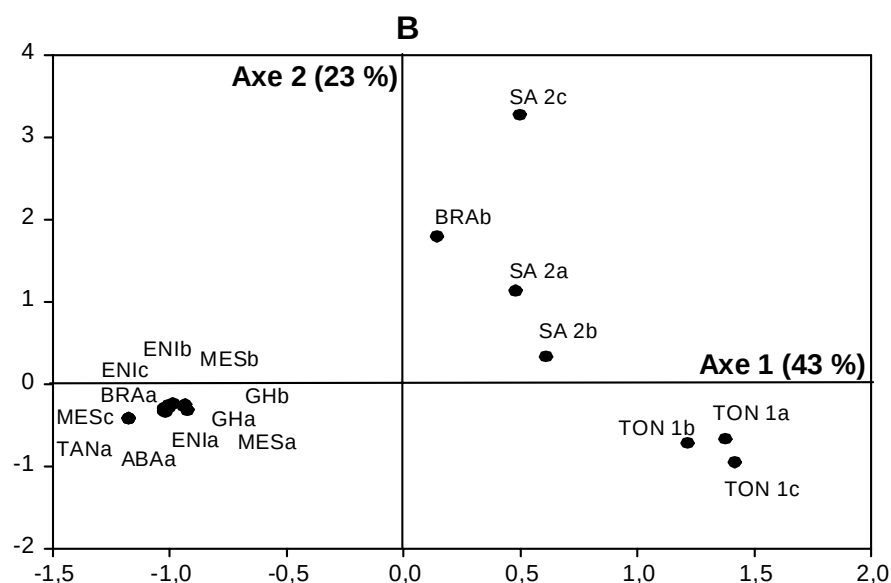


Figure 4.39 : Ordination des taxons (A) et des prélèvements (B) de chironomides effectués au filet troubleau de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey dans le fleuve Niger dans le plan formé par les axes 1 et 2 de l'AFC (a = mai 2005, b = juin 2005 et c = mars 2006).

La diversité de chironomides sur la jacinthe d'eau est assez faible. Seul 6 taxons ont été recensés. Il s'agit de *Chironomus* gr. *plumosus*, *Microchironomus* sp., *Polypedilum* spp.1, *Polypedilum* spp.2, *Ablabesmyia* sp. et *Micropelopiinae* sp. Dans ce cas, nous ne trouvons pas utile de procéder à une analyse factorielle de correspondance surtout qu'à la station de référence aucun taxon n'a été récolté.

La corrélation de l'axe 1 de l'AFC avec les différents indices d'aptitude biologique (Tab. 4.3) met en évidence, à partir des substrats artificiels, une distribution des taxons selon un gradient écologique lié aux matières phosphorées, matières organiques et oxydables. La méthode du filet troubleau permet de mettre en évidence la corrélation de l'axe 1 de l'AFC avec les matières azotées, organiques et oxydables.

Tableau 4.3 : Corrélation de l'axe 1 de l'AFC avec les indices d'aptitude biologique par technique de prélèvement (R = coefficient de corrélation de Pearson, p = probabilité, AZOT = matières azotées, PHOS = matières phosphorées, MOOX = matières organiques et oxydables, a = crue + étiage + saison des pluies).

	Substrats artificiels	Filet troubleau
AZOT	-0,2734 (0,272)	0,5574 (0,016)
MOOX	-0,5038 (0,033)	0,5121 (0,030)
PHOS	-0,2574 (0,302)	0,3432 (0,163)
AZOT^a	-0,373 (0,127)	0,3166 (0,201)
MOOX^a	-0,7631(< 0,001)	0,8954 (< 0,001)
PHOS^a	-0,5506 (0,018)	0,2112 (0,400)

4.3. Discussion

La structure de peuplement des macroinvertébrés le long du fleuve Niger à Niamey est décrite à partir de trois types d'échantillonnage, dont l'applicabilité et la fiabilité sont conditionnées par le régime hydrologique. Deux de ces techniques offrent une meilleure possibilité de comparaison des stations échantillonnées. Il s'agit des substrats artificiels et de la jacinthe d'eau contrairement au filet troubleau dont les résultats d'échantillonnage pourraient être influencés par des facteurs comme la diversité d'habitats.

Cette possibilité de comparaison nous amène à expliquer le gradient amont-aval relevé à partir de la richesse et de la diversité taxonomique par l'influence des rejets de la ville de Niamey qui entraînent probablement une altération du milieu. Ainsi, en aval immédiat des rejets la richesse et la diversité taxonomique connaissent une baisse contrairement à l'amont loin des rejets qui représente la situation de référence. En aval lointain, une situation de restauration de la diversité commence à s'observer. Ces résultats traduisent bien l'évolution d'une altération en passant de l'amont à l'aval du facteur responsable (ROSILLON, 1983). Cette altération s'exprime par un nombre plus élevé de taxons en amont des sources de pollution avec une abondance

plus faible et l'équitabilité dans la distribution des taxons supérieure à 0,5 contrairement à l'aval immédiat des rejets où le nombre de taxons est plus faible, l'abondance plus élevée et l'équitabilité dans la distribution des taxons inférieure à 0,5. La richesse et l'abondance taxonomiques sont inversement proportionnelles. Les conditions de milieu défavorables ont donc tendance à favoriser les taxons qui s'adaptent le mieux et prolifèrent au détriment des taxons qui s'adaptent le moins, contrairement à des bonnes conditions de milieu où on tend vers un équilibre entre les abondances taxonomiques.

L'analyse de l'abondance taxonomique montre par exemple une forte dominance de *Melania* sp. à TAN et ME en échantillonnant au filet troubleau et sur les substrats artificiels. PRENTICE (1983) et DUDGEON (1989) évoquent la capacité de *Melania* à maintenir une forte densité dans des habitats variés. D'après CHINIOTIS et al. (1980), PRENTICE (1983) et MADSEN (1992), *Melania* se nourrit probablement des algues, des microorganismes et de petites particules de matière organique. La présence à la tannerie (TAN) d'importants dépôts de débris végétaux (*Acacia nilotica* utilisée dans le tannage des peaux) pourrait justifier la quasi dominance de *Melania* dans ce milieu et à la station la plus proche d'elle qui est Mess (ME). A l'abattoir, malgré une présence abondante de débris végétaux issus des contenus stomacaux, *Melania* domine uniquement dans les échantillonnages au filet troubleau avec une abondance beaucoup plus faible comparativement à TAN. La proximité de cette station du rejet de l'Office du Lait du Niger (OLANI) à pH acide (pH moyen égal à 5) pourrait être défavorable à la prolifération de ce taxon malgré un pH compris entre 6 et 7 dans les eaux du fleuve à la station ABA.

L'application des différentes techniques d'échantillonnage à différents régimes du fleuve ne permet pas de les comparer et d'apprécier la performance de chacune d'elle.

Il faut néanmoins noter que ces trois techniques ont permis de se faire une idée sur la richesse taxonomique totale des macroinvertébrés du fleuve Niger à Niamey. La comparaison de la différence de la richesse taxonomique entre les trois techniques montre qu'elles sont complémentaires. En effet, en comparant deux à deux les techniques d'échantillonnage sur la base de la richesse taxonomique, il ressort que les échantillonnages au filet troubleau et sur la jacinthe d'eau ont en commun 49 % des taxons, les substrats artificiels et la jacinthe d'eau 41 %, le filet troubleau et les substrats artificiels 56 %.

La jacinthe d'eau et les substrats artificiels apportent le plus grand nombre de taxons (72 % du nombre total des taxons chacun) et le filet troubleau 62 %. Ces résultats peuvent s'expliquer pour la jacinthe d'eau par l'amélioration des conditions de milieu au moment de l'échantillonnage (crue) effectué en plus dans la colonne d'eau. Quant aux substrats artificiels, ils permettent un échantillonnage plus riche comparé au filet troubleau car il constitue un micro-habitat supplémentaire induit dans les stations d'échantillonnage et susceptible d'améliorer la diversité taxonomique.

Du point de vue richesse taxonomique, le filet troubleau et les substrats artificiels donnent des résultats plus similaires que ces deux techniques comparées à la jacinthe d'eau. Ces deux techniques, appliquées au même régime du fleuve, échantillonnent le fond et, ils se trouvent de ce fait dans des conditions de milieu comparables.

La variabilité des abondances taxonomiques observée pour des prélèvements effectués avec une même technique au sein d'une même station pourrait être attribuée aux pertes liées à l'échantillonnage et au tri mais aussi à l'instabilité des eaux dans le lit majeur du fleuve Niger à Niamey qui pourrait être défavorable à l'installation d'une communauté de macroinvertébrés stable. Cela s'observe d'ailleurs à travers la différence de diversité taxonomique entre les prélèvements effectués au filet troubleau dans un mois d'intervalle seulement et la présence des taxons comme *Notonecta* sp. et *Ecnomus* sp. généralement signalés dans des rivières temporaires (MORAIS, 1995 In : COIMBRA et al., 1996) . Le retour progressif du fleuve dans le lit mineur pendant la période d'échantillonnage couplée à une faible diversité d'habitats expliquerait aussi les abondances taxonomiques très faibles observées.

La différence de diversité taxonomique entre les prélèvements effectués sur les substrats artificiels peut être attribuée à des facteurs externes comme le sabotage qui peut perturber le processus de colonisation des substrats par les macroinvertébrés mais aussi à la dynamique de retour des eaux dans le lit mineur. La variation de la diversité taxonomique dans les prélèvements réalisés sur le système racinaire de la jacinthe d'eau est tributaire de l'arrivée de ce macrophyte en saison des pluies, de son processus de stabilisation le long des berges et de sa prolifération. La jacinthe d'eau a une densité non seulement plus élevée dans la zone de rejet qu'en amont et en aval loin des rejets mais variable aussi d'une année à une autre.

La comparaison de la diversité taxonomique apportée par les substrats artificiels et le filet troubleau montre de différence entre la station de référence, la station en aval de tous les points de rejets et les stations en aval immédiat des rejets. Ces techniques d'échantillonnage sont appliquées en étiage, période où la dilution des rejets est très faible alors que la jacinthe d'eau est échantillonnée en période de crue pendant que le pouvoir de dilution du fleuve est élevé.

L'utilisation de ces trois techniques pour l'échantillonnage de la diversité chironomienne montre la complémentarité entre le filet troubleau et les substrats artificiels. Les taxons communs à ces deux techniques d'échantillonnage représente 55 % du nombre total de taxons récoltés par les deux techniques. La jacinthe d'eau présente une faible richesse taxonomique en Chironomides et n'apporte aucun taxon supplémentaire comparativement aux techniques précédentes. Ces résultats pourraient expliquer une certaine préférence du substrat (fond) par les chironomides comparativement au système racinaire prélevé dans la colonne d'eau. Cette conclusion doit néanmoins tenir compte du fait que les deux échantillonnages ne sont pas effectués à la même période. La jacinthe d'eau pourrait donc ne pas convenir dans l'étude de la diversité chironomienne ni dans la mise en évidence de la pollution des eaux du fleuve Niger à Niamey à cause de sa présence assez limitée dans le temps (crue qui correspond à un fort pouvoir de dilution de la pollution). En plus, la diversité taxonomique calculée à partir de l'indice de Shannon-Weaver sur les prélèvements effectués dans le système racinaire de la jacinthe est comprise entre 0 et 1, ce qui ne reflète pas du tout le niveau de qualité des eaux à cette période.

Tout comme l'ensemble des macroinvertébrés, la richesse taxonomique des chironomides étudiée au filet troubleau et sur les substrats artificiels est plus élevée dans la station de référence et plus faible dans la zone de rejets. Un début de restauration de la richesse taxonomique s'observe dans la station située en aval de tous les points de rejets.

L'analyse factorielle de correspondance appliquée à l'ensemble des macroinvertébrés démontre les mêmes résultats en donnant une distribution des taxons selon un gradient écologique qui serait significativement ($P < 0,05$) expliqué par les matières organiques et oxydables sur la jacinthe d'eau et par les matières azotées, phosphorées, organiques et oxydables lorsque l'échantillonnage est effectué au filet troubleau.

La corrélation des indices d'aptitude à la biologie avec l'axe 1 issue de l'AFC réalisée sur l'échantillonnage des macroinvertébrés au filet troubleau pourrait traduire une intégration par les taxons de la qualité de l'eau sur l'ensemble des périodes d'échantillonnage. Par contre, la réponse des macroinvertébrés, récoltés sur la jacinthe d'eau, à l'indice d'aptitude biologique lié à la matière organique calculé sur l'ensemble des période d'échantillonnage pourrait juste exprimer une situation saisonnière qui correspondrait au moment de la stabilisation de ce macrophyte qui coïncide à des apports importants de matières organiques par les eaux de ruissellement qui charrient les caniveaux et les déchets solides de la ville. La corrélation de la matière organique et oxydable avec l'axe 1 de l'AFC réalisée avec les abondances taxonomiques sur la jacinthe d'eau peut aussi expliquer la prolifération importante de ce macrophyte spécifiquement dans la zone des rejets comparativement à l'amont des rejets (station de référence).

Les chironomides tout comme l'ensemble des macroinvertébrés montre une distribution selon un gradient écologique lié aux matières azotées, phosphorées, organiques et oxydables, et ce qu'ils soient échantillonnés sur les substrats artificiels ou au filet troubleau. Ils présentent ainsi un intérêt certain dans l'étude de la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey.

Au même titre que la physico-chimie, les macroinvertébrés montrent à travers l'AFC une différence entre les stations de référence et les stations situées dans les zones de rejets. La comparaison des trois AFC sur la base de l'inertie totale expliquée privilégie l'utilisation des substrats artificiels et du filet troubleau qui présentent respectivement 2,20 et 2,17 d'inertie totale. Avec la jacinthe d'eau, l'inertie expliquée est de 0,7, ce qui traduit moins la variabilité entre les stations conformément à la période d'échantillonnage. Ces résultats montrent en plus que la pollution des eaux du fleuve Niger à Niamey est beaucoup plus perceptible en étiage qu'en période de crue.

L'utilisation de la méthode de Bray-Curtis pour la classification des stations traduit le même phénomène. La distance d'agrégation des stations, qui se fait entre 0 et 0,8 pour les substrats artificiels et le filet troubleau puis entre 0 et 0,4 pour la jacinthe d'eau, montre bien que dans le premier cas (substrats artificiels et filet troubleau) les stations de prélèvement sont beaucoup plus différentes les unes des autres que dans le second cas (jacinthe d'eau).

En réalisant une analyse factorielle de correspondance avec les chironomides, récoltés au filet troubleau et sur les substrats artificiels, on aboutit également à une séparation de la station de référence avec les autres stations. L'inertie totale avec le filet troubleau est de 1,74 tandis qu'elle est de 1,31 avec les substrats artificiels. Les chironomides peuvent donc être utilisés pour étudier la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey en prospectant au mieux le substrat. Mais, le stade actuel de la connaissance de leur diversité peut constituer un facteur limitant.

La comparaison sur la base de l'inertie totale expliquée par chaque technique de prélèvement en utilisant d'une part l'ensemble des macroinvertébrés (2,17 à 2,20 d'inertie) et d'autre part les Chironomidae (1,31 à 1,74 d'inertie) privilégie a priori l'utilisation de tous les macroinvertébrés. Néanmoins, le recours aux chironomides seuls permettrait aussi d'expliquer une grande part d'inertie et de simplifier le travail taxonomique sur l'ensemble des macroinvertébrés.

L'analyse de l'évolution des taxons de la station de référence en passant par les zones de rejets puis par les stations en aval loin des rejets montre que les taxons comme *Baetis* sp., *Ephemerellina* sp., *Centroptiloides* sp., *Thraulius* sp., *Afronurus* sp., *Adenophlebia* sp., *Caenis* sp., *Elassoneuria* sp. et *Ecnomus* sp. sont absents ou deviennent rares dans la zone de rejets pour réapparaître dans les stations en aval loin des rejets. Dans les stations en aval immédiat des rejets, apparaissent des taxons beaucoup plus tolérants à certaines conditions du milieu comme un déficit en oxygène. Ces taxons appartiennent par exemple aux Chironomidae, Culicidae, Syrphidae,...(COIMBRA et al., 1996). Une telle évolution des taxons est une indication sur la différence des caractéristiques des stations échantillonnées qui peut s'expliquer non seulement par la différence d'habitats mais aussi par l'impact des rejets sur le milieu récepteur. Il faut en effet noter que la diversité d'habitats est plus importante à la station de référence et à la station en aval loin des rejets à cause de la présence de pierres ou cailloux absents sur toute la zone de rejets.

En plus, la présence chez *Chironomus* gr. *plumosus* de tubules assez développées dans toutes les stations en aval des rejets pourrait être considéré comme une indication de pollution organique. Cette espèce n'a jamais été récoltée à la station de référence, TON 1, ce qui pourrait être une indication d'une absence entre autres de pollution organique à cette station.

Références bibliographiques

ANGELIER E., 2000. Ecologie des eaux courantes. Editions Technique & Documentation, 199 p.

ARMITAGE P., CRANSTON P. S. and PINDER L. V. C., 1995. The Chironomidae : the biology and ecology of non-biting midges. In: EVRARD M., 1996. Utilisation des exuvies nymphales de Chironomidae (Diptera) en tant qu'indicateurs biologiques de la qualité des eaux de surface wallonnes. Thèse de Doctorat, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix Namur (Belgique), 204 p. (sans les annexes).

BAUERNFEIND E. and MOOG O., 2000. Mayflies (Insecta: Ephemeroptera) and the assessment of ecological integrity: a methodological approach. *Hydrobiologia*, 422/423: 71-83.

BERTRAND H., 1954. Les insectes aquatiques d'Europe (genre : larves, nymphes, imagos). Vol. II. Trichoptères, Lépidoptères, Diptères, Hyménoptères. Editions Paul Lechevalier, Paris (VI^e), 547 p.

CALLISTO, M., MORENO, P., GONÇALVES, J. F. Jr., LEAL, J. J. F. et ESTEVES F. A., 2002 Diversity and biomass of Chironomidae (Diptera) larvae in an impacted coastal lagoon in Rio De Janeiro, Brazil. *Brazil Journal of Biology*, 62: 77-84.

CHINIOTIS B. N. C., BUTLER J. M., FERGUSON Jr. F. and JOBIN W. R., 1980. Bionomics of *Tarebia Granifera* (Gastropoda: Thiaridae) in Puerto Rico, an Asiatic vector of Paragonimiasis Westernmani. *Caribbean Journal of Science*, 16 (1-4): 81-90.

COIMBRA C. N., GRAÇA M. A. S. et CORTES R. M., 1996. The effects of a basic effluent on macroinvertebrate community structure in a temporary Mediterranean river. *Environmental Pollution*, 94: 301-307.

DEJOUX C., 1984. Contribution à la connaissance des Chironomides d'Afrique de l'Ouest (Diptères-Nématocères), 3^e note. *Revue Hydrobiologie tropicale*, 17: 65-76.

DEJOUX C., 1991. Les macro-invertébrés associés à la végétation aquatique dans la partie bolivienne du lac Titica. *Revue Hydrobiologie tropicale*, 24 : 91-104

DUDGEON D., 1989. Ecological strategies of Hong Kong Thiaridae (Gastropoda: Prosobranchia). *Malacological Riview*, 22: 39-53.

DURAND J.R. et LEVEQUE C., 1980. Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne. Tome I. ORSTOM. Paris, 389 p.

DURAND J.R. et LEVEQUE C., 1981. Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne. Tome II. ORSTOM. Paris, 847 p.

EGGERMONT H and VERSCHUREN D., 2004a. Sub-fossil Chironomidae from East Africa. 1. Tanypodinae and Orthoclaadiinae. *Journal of Paleolimnology*, 32: 383-412.

EGGERMONT, H and VERSCHUREN, D., 2004b. Sub-fossil Chironomidae from East Africa. 2. Chironominae (Chironomini and Tanytarsini). *Journal of Paleolimnology*, 32: 413-455.

EGGERMONT, H and VERSCHUREN, D., 2003. Sub-fossil Chironomidae from Lake Tanganyika, East Africa. 1. Tanypodinae and Orthoclaadiinae. *Journal of Paleolimnology*, 29: 31-48.

EGGERMONT, H, VERSCHUREN, D. and DUMONT, H., 2005. Taxonomic diversity and biogeography of Chironomidae (Insecta: Diptera) in lakes of tropical West Africa using subfossil remains extracted from surface sediments. *Journal of Biogeography*, 32, 1063-1083.

EGGERMONT, H., 2004. Fossil Chironomidae (Insecta, Diptera) as biological indicators for past salinity variation in African Lakes. Taxonomy, quantitative inference models, and assessment of model performance in space and time. Thèse de Doctorat, Univ. Gent, 501 p.

EVARD M., 1996. Utilisation des exuvies nymphales de Chironomidae (Diptera) en tant qu'indicateurs biologiques de la qualité des eaux de surface wallonnes. Thèse de Doctorat, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix Namur (Belgique), 204 p. (sans les annexes).

FROUZ J., MATĚNA J. and ALI A., 2003. Survival strategies of chironomids (Diptera: Chironomidae) living in temporary habitats: a review. *European Journal of Entomology*, 100: 459-465.

GAYRAUD S., STATZNER B., BADI P., HAYBACH P. A., SCHÖLL F., USSEGLIO-POLATERA P. and BACCHI M., 2003. Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: an initial assessment of alternative matrices. *Freshwater Biology*, 48: 2045-2064.

- LAFONT M., JUGET J. et ROFES G., 1991.** Un indice biologique lacustre basé sur l'examen des oligochètes. *Revue des sciences de l'eau*, 4 : 253-268.
- LANCASTER J., 1999.** Small-scale movements of lotic macroinvertebrates with variations in flow. *Freshwater Biology*, 41: 605-619.
- LEGENDRE P. and LEGENDRE L., 1998.** Numerical Ecology. Second English edition. *ELSEVIER Science B.V.*, Amsterdam, 853 p.
- LOMOND T. M. and COLBO M. H., 2000.** Variations in lake-outlet Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera communities amongst regions of eastern Newfoundland, Canada. *Canadian Journal of Zoology*, 78: 1536-1543.
- MADSEN H., 1992.** Food selection by freshwater snails in the Gezira irrigation canals, Sudan. *Hydrobiologia*, 228: 203-217.
- MOLLER PILLOT, H. K.M., 1984.** De larven Der Nederlandse Chironomidae (Diptera). Inleiding, Tanypodinae and Chironomini 1A. *Derde druk*, 278 p.
- MORAIS M. M., 1995.** Organização especial e temporal de um rio temporário mediterrânico (Rio Degebe, bacia hidrográfica do Guadiana). Descritores físico-químicos e produtores primários. Comunidades bentónicas de macroinvertebrados. PhD Thesis. University of Évora, Évora, Portugal In: COIMBRA C. N., GRAÇA M. A. S. et CORTES R. M., 1996. The effects of a basic effluent on macroinvertebrate community structure in a temporary Mediterranean river. *Environmental Pollution*, 94: 301-307.
- MULI J. R. and MAVUTI K. M., 2001.** The benthic macrofauna community of Kenyan waters of Lake Victoria. *Hydrobiologia*, 458: 83-90.
- PELLETIER L., 2002.** Le bassin de la rivière Saint-Maurice : les communautés benthiques et l'intégrité biotique du milieu. Quebec, ministère de l'environnement, direction du suivi de l'état de l'environnement, envirodoq n° ENV/2002/0291, rapport n° EA/2002-02, 85 p.
- PISCART C., MORETEAU J.-C. and BEISEL J.-N., 2005.** Biodiversity and structure of macroinvertebrate communities along a small permanent salinity gradient (Meurthe River, France). *Hydrobiologia*, 551: 227-236.

PRENTICE M. A., 1983. Displacement of *Biomphalaria glabrata* by the snail *Thiara granifera* in field habitats in Santa Lucia, west Indies. *Annals of tropical medicine and parasitology* 77 (1) : 51-59.

QUINN J. M. and HICKEY C. W., 1990. Characterization and classification of benthic invertebrate communities in 88 New Zealand rivers in relation to environmental factors. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 24: 387-407.

ROSENBERG, D. M. et RESH, V. H. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates: In EGGERMONT H, VERSCHUREN D. and DUMONT H., 2005. Taxonomic diversity and biogeography of Chironomidae (Insecta: Diptera) in lakes of tropical West Africa using subfossil remains extracted from surface sediments. *Journal of Biogeography*, 32: 1063-1083.

ROSILLON D., 1983. Etude quantitative de l'impact d'une pollution organique sur la biocénose benthique d'une rivière salmonicole: La Lhomme (Belgique). *Annales de la Société royale de Zoologie de Belgique*, 1 : 19-30

SARKAR S. K., BHATTACHARYA A., GIRI S., BHATTACHARYA B., SARKAR D., NAYAK D. C. and CHATTOPADHAYA A. K., 2005. Spatiotemporal variation in benthic polychaetes (Annelida) and relationships with environmental variables in a tropical estuary. *Wetlands Ecology and Management*, 13: 55-67.

SHIVOGA W. A., 2001. The influence of hydrology on the structure of invertebrate communities in two streams flowing into Lake Nakuru, Kenya. *Hydrobiologia*, 458: 121-130.

SOLIMINI A. G., GULIA P., MONFRINOTTI and CARCHINI G., 2000. Performance of different biotic indices and sampling methods in assessing water quality in the lowland stretch of the Tiber River. *Hydrobiologia*, 422/423: 197-208.

STATSOFT FRANCE, 1997. Statistica pour Windows (manuel du programme) : Statsoft France – 31, cours des Juilliottes – 94700 Maisons – Alfort.

STATZNER B., DOLEDEC S. and HUGUENY B., 2004. Biological trait composition of European stream invertebrate communities: assessing the effects of various trait filter types. *Ecography*, 27: 470-488.

TER BRAAK C. J. F. and SMILAUER P., 1999. CANOCO for Windows (version 4.02)- a FORTRAN program for canonical community ordination. Centre for biometry Wageningen. Wageningen. The Netherlands.

TUMWESIGYE C., YUSUL S. K. and MAKANGA B., 2000. Structure and composition of benthic macroinvertebrates of a tropical forest stream, River Nyamweru, western Uganda. *African Journal of Ecology*, 38: 72-77.

USSEGLIO-POLATERA P., BOURNAUD M., RICHOUX P. and TACHET H., 2000. Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: how to use species trait databases? *Hydrobiologia*, 422/423: 153-162.

VANDEN BOSSCHE J.-P. and USSEGLIO-POLATERA P., 2005. Characterization, ecological status and type-specific reference conditions of surface water bodies in Wallonia (Belgium) using biocenotic metrics based on benthic invertebrate communities. *Hydrobiologia*, 551: 253-271.

VARDAL H., BJØRLO A. and SÆTHER O. A., 2002. Afrotropical *Polypedilum* subgenus *Tripodura*, with a review of the subgenus (Diptera: Chironomidae). *Zoological Scripta*, 31: 331-402.

VILJOEN A., CYRUS D.P. and WEPENER V., 2001. Comparison of the density and species composition of aquatic invertebrates found between the roots of *Eichhornia crassipes* plants from two coastal lakes in northern KwaZulu-Natal. *African journal of Aquatic Science*, 26: 57-65.

WIEDERHOLM T., 1983. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part 1. Larvae. *Entomologica Scandinavica. Supplement*, 19, 457 p.

Chapitre 5 : Distribution des assemblages de macroinvertébrés en relation avec les facteurs environnementaux

La fluctuation des facteurs abiotiques et biotiques est souvent responsable de certains changements constatés au sein des communautés benthiques parmi lesquelles figurent les macroinvertébrés. Ces changements sont liés à la fluctuation des caractéristiques physico-chimiques du milieu, notamment le substrat (EVRARD et MICHA, 1995), la disponibilité en nutriments (HART et *al.*, 2003), la minéralisation (PISCART et *al.*, 2005), la charge en matière organique (NEGISHI et RICHARDSON, 2003 ; ROSILLON, 1983), le taux en oxygène dissous (TARR et *al.*, 2005 ; BRODERSEN et *al.*, 2004), les teneurs en métaux lourds (SCHUWERACK et *al.*, 2001) et la diversité des micro-habitats accessibles (JAHAN et *al.*, 2001 ; NDIFON et UKOLI, 1989).

Cette fluctuation peut être d'origine naturelle, notamment la modification physique des systèmes aquifères et/ou hydrographiques (morphologie, géologie, régime, débit,...), ou artificielle (anthropique : aménagement, agronomie, industrie, domestique, pêche,...).

L'impact de toutes ces fluctuations sur les communautés de macroinvertébrés est également lié aux variations saisonnières (YOUNES-BARAILLE et *al.*, 2005).

Selon la nature, l'ampleur et le rythme de ces fluctuations ainsi que la capacité d'assimilation du système hydrographique, les phénomènes biologiques suivant s'observent (YOUNES-BARAILLE, 2005 ; VERNEAUX In : PESSON, 1976) :

- la modification de la structure du peuplement initial ou bouleversement biocénotique ;
- l'apparition puis la prolifération d'espèces électives ;
- la disparition plus ou moins rapide, dans un certain ordre, de tout ou une partie du peuplement initial.

Ces situations ne s'observent que si le seuil d'adaptabilité des espèces n'est pas dépassé. Sinon, on aboutit à une catastrophe écologique qui se traduit par l'extinction des êtres vivants présents dans le système aquatique.

Ce chapitre a pour objectif d'étudier la distribution des communautés de macroinvertébrés sous la contrainte des facteurs environnementaux.

Il permettra ainsi de mettre en évidence les facteurs qui contribuent significativement à la distribution des taxons le long du fleuve Niger à Niamey. A la différence du chapitre 3 et 4, ce chapitre traite de l'interaction directe des facteurs physico-chimiques et biotiques (macroinvertébrés) pour évaluer l'impact de la pollution de la ville de Niamey sur la qualité des eaux du fleuve Niger.

5.1. Méthode statistique

Une analyse canonique des correspondances (ACC) a été réalisée afin de mettre en relation les paramètres physico-chimiques et les macroinvertébrés. Cette analyse permet de corréler la variance des communautés de macroinvertébrés à celle des facteurs environnementaux (MISERENDINO et PIZZOLON, 2003 ; MISERENDINO, 2001). Les facteurs qui expliquent de manière significative ces changements sont déterminés en utilisant le test de permutation de Monte Carlo (999 permutations) des valeurs propres. En procédant à ce test, toutes les variables environnementales qui ont un facteur d'inflation supérieur à 20 (TER BRAAK et SMILAUER, 1999 ; COIMBRA et *al.*, 1996) sont exclues de l'analyse. Le facteur d'inflation de la variance des descripteurs est une mesure qui permet d'évaluer la corrélation qui existe entre eux. Un facteur d'inflation élevé est une indication d'une grande multicollinéarité.

La matrice des paramètres physico-chimiques est élaborée à partir des données des deux mois précédant chaque échantillonnage des macroinvertébrés.

Cette matrice est jugée représentative de la qualité moyenne des eaux et suffisante pour expliquer le changement de l'assemblage des macroinvertébrés lié à la dégradation du milieu.

La matrice des macroinvertébrés est celle utilisée dans le chapitre précédent. Toutes les données invertébrés ont subi une transformation logarithmique de type $\text{LOG}_{10}(X + 1)$ pour normaliser et stabiliser la variance.

Le logiciel, CANOCO for Windows version 4.02 (TER BRAAK et SMILAUER, 1999) est utilisé pour réaliser cette analyse.

5.2. Résultats

Ils présentent l'ordination des taxons et des prélèvements résultant de l'interaction entre d'une part l'ensemble des macroinvertébrés et les facteurs environnementaux, et d'autres part entre les chironomides seuls et ces facteurs. Les résultats sont présentés par technique

d'échantillonnage. Les résultats sur la jacinthe d'eau n'ont pas été exploités en raison d'un nombre très limité de taxons, de l'absence de taxons à la station de référence et de son utilisation en période de crue qui correspond à un moment où la capacité de dilution du fleuve est élevée. Pour mieux expliquer la variabilité des assemblages de macroinvertébrés liée essentiellement aux facteurs environnementaux (objet de ce chapitre), nous avons décidé de retirer de l'analyse l'échantillonnage au filet troubleau réalisé en mars 2006. Il est effectué plus tôt que les autres échantillonnages, ce qui induit une forte variabilité dans les résultats qui est essentiellement temporelle. Pour réduire l'effet de la variabilité annuelle relevé dans l'échantillonnage avec les substrats artificiels, nous avons aussi pris l'année comme covariable dans l'analyse.

5.2.1. Relation entre les macroinvertébrés et les facteurs environnementaux

Ce sous-chapitre donne une ordination des taxons et des stations d'échantillonnage en fonction des facteurs environnementaux qui expliquent de manière significative la distribution des assemblages de macroinvertébrés le long du fleuve Niger à Niamey. Les autres facteurs environnementaux sont repris dans l'analyse comme des variables supplémentaires, c'est-à-dire passives.

5.2.1.1. Méthode d'échantillonnage au filet troubleau

Le plan des axes 1 et 2 de l'ACC explique 48 % de variance des échantillons au filet troubleau dont 28 % expliqués par l'axe 1 et 20 % par l'axe 2. L'inertie totale (= somme de toutes les valeurs propres) expliquée est de 1,793. La part d'inertie expliquée par les facteurs environnementaux les plus significatifs ($p < 0,05$) est de 1,146 soit 64 %. Ces facteurs sont la profondeur de l'eau au point d'échantillonnage, l'oxygène dissous, le pH, les orthophosphates et le phosphore total. La corrélation des facteurs environnementaux aux axes est donnée par le tableau 5.1 et la figure 5.1A.

L'axe 1 est associé au régime du fleuve (profondeur) tandis que l'axe 2 est associé au pH et aux matières phosphorées.

Vingt trois taxons présentent une variance supérieure ou égale à 10 % (Annexe 5.1) dans le plan formé par les axes 1 et 2. Il s'agit de : Némathelminthes, *Sphaerium* sp., *Pila* sp., *Melania* sp., *Lymnaea* sp., *Aspatharia* sp., *Caridina* sp., *Potamonautes* sp., *Thraulius* sp., *Caenis* sp., *Centropiloides* sp., *Elassoneuria* sp., *Ephemerellina* sp., *Phyllogomphus* sp., *Pseudagrion* sp., Libellulidae, *Micronecta* sp.,

Hydrochus sp., *Enochrus* sp., *Ecnomus* sp., *Macronema* sp., Ceratopogonidae et Chironomidae.

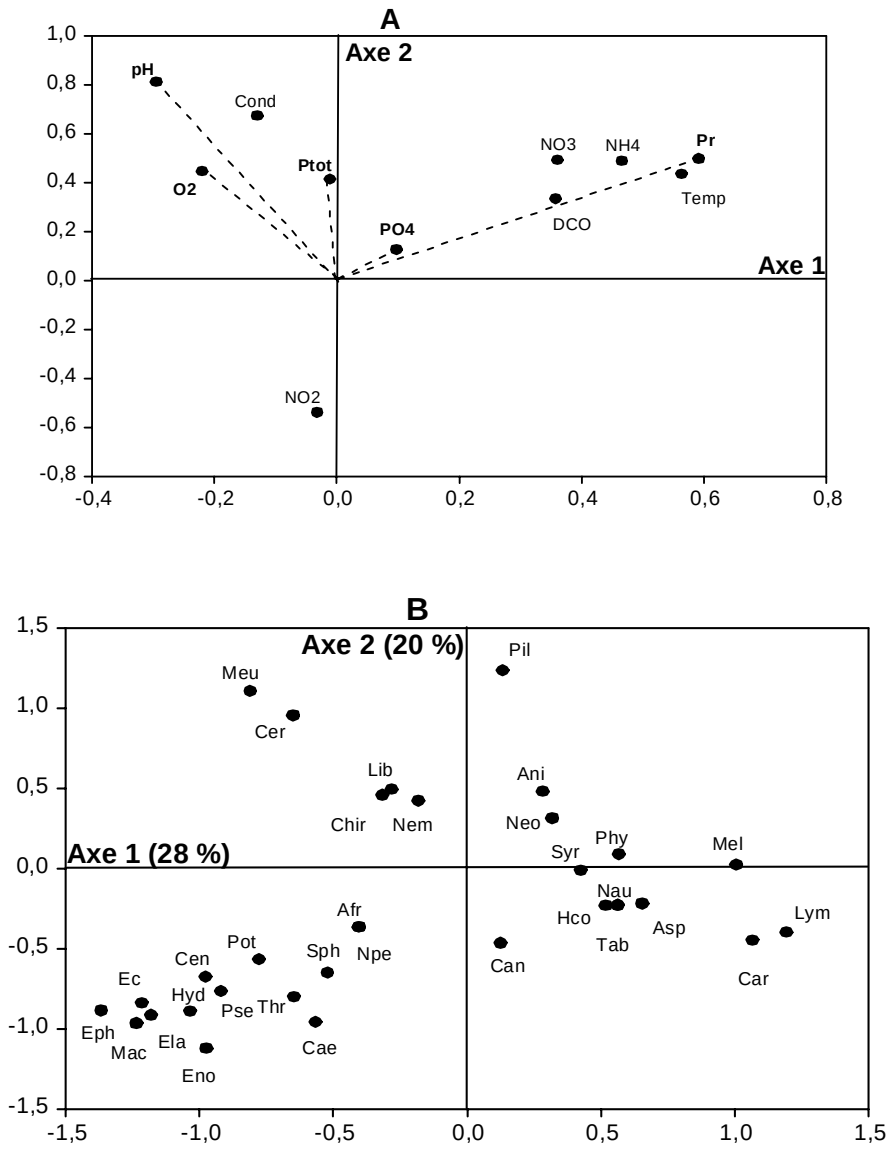
Melania sp., *Lymnaea* sp., *Aspatharia* sp., *Caridina* sp. et *Phyllogomphus* sp. sont positivement corrélés à l'axe 1 tandis que *Potamonautes* sp., *Centroptiloïdes* sp., *Elassoneuria* sp., *Ephemerellina* sp., *Pseudagrion* sp., *Hydrochus* sp., *Ecnomus* sp. et *Macronema* sp. sont négativement corrélés à l'axe 1 (Fig. 5.1B).

Tableau 5.1 : Corrélation des facteurs environnementaux aux axes 1 et 2 de l'ACC

Facteurs	Axe 1	Axe 2
pH	-0,294	0,809
PO4	0,0981	0,1239
Ptot	-0,0103	0,4115
O2	-0,2189	0,4438
Pr	0,5927	0,4955

Némathelminthes, *Pila* sp., Libellulidae, *Micronecta* sp., Ceratopogonidae et Chironomidae sont positivement corrélés à l'axes 2 alors que *Sphaerium* sp., *Thraulius* sp., *Caenis* sp. et *Enochrus* sp. sont négativement corrélés à l'axe 2.

L'ordination des prélèvements est donnée à la figure 5.1C.



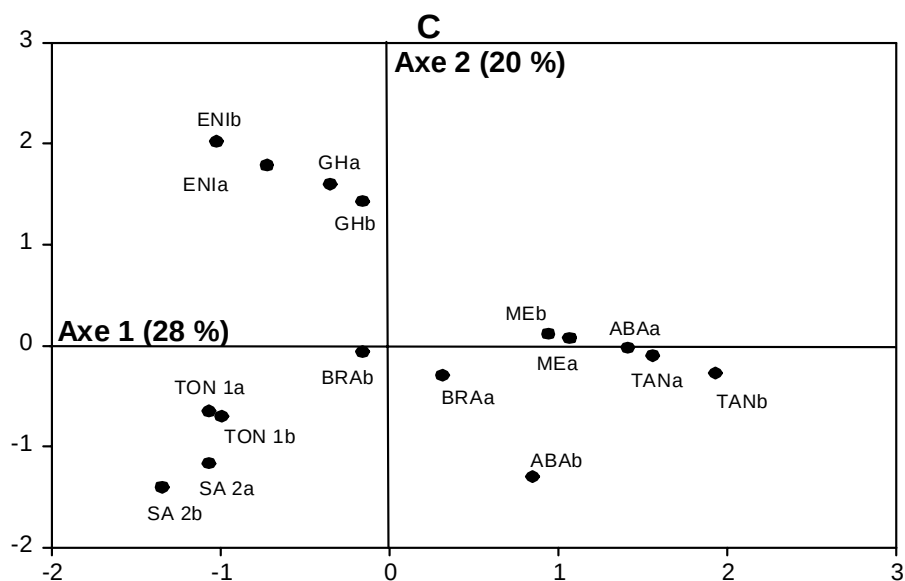


Figure 5.1 : Ordination des facteurs environnementaux (A), des taxons (B) et des prélèvements (C) dans le plan des deux premiers axes de l'ACC en mai 2005 (a) et juin 2005 (b), les facteurs actifs sont en gras et reliés à l'origine des axes.

5.2.1.2. Méthode d'échantillonnage aux substrats artificiels

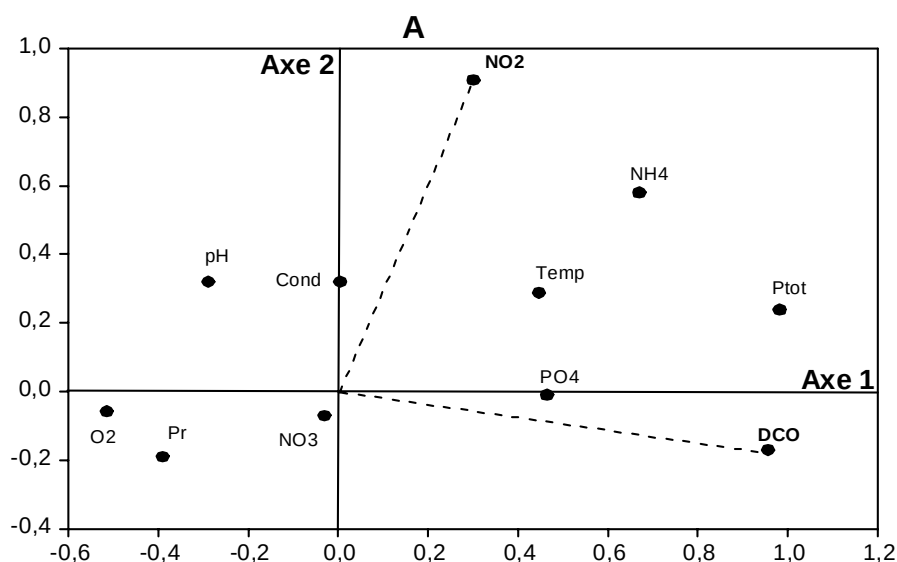
Le pourcentage total de variance expliquée est de 26 % pour les deux premiers axes de l'ACC dont 18 % expliqués par l'axe 1 et 8 % par l'axe 2. L'inertie totale expliquée est de 2,872. La part d'inertie expliquée par les facteurs environnementaux les plus significatifs, la demande chimique en oxygène et les nitrites est de 0,709 soit 25 %. La demande chimique en oxygène est positivement corrélée à l'axe 1 ($r = 0,96$) et les nitrites à l'axe 2 ($r = 0,90$). L'axe 1 est donc un axe lié à la matière organique et l'axe 2 aux matières azotées (5.2A).

Vingt cinq taxons présentent une variance supérieure ou égale à 10 % (Annexe 5.2) dans le plan formé par les axes 1 et 2. Il s'agit de : *Nemathelminthes*, *Pila* sp., *Sphaerium* sp., *Melania* sp., *Aspatharia* sp., *Bulunus* sp., *Caridina* sp., *Thraulius* sp., *Caenis* sp., *Elassoneuria* sp., *Ictinogomphus* sp., *Phyllogomphus* sp., *Pseudagrion* sp., Libellulidae, *Micronecta* sp., *Hydrometra* sp., *Mesovelis* sp., *Stenelmis* sp., *Neohydrophilus* sp., *Ecnomus* sp., Syrphidae, Tipulidae, Tabanidae, Ceratopogonidae et *Mansonia* sp. (Fig. 5.2B).

Bulunus sp., *Hydrometra* sp., *Mesovelina* sp., *Stenelmis* sp., *Neohydrophilus* sp., Syrphidae, Tipulidae, Tabanidae, Ceratopogonidae et *Mansonia* sp. sont positivement corrélés à l'axe 1 tandis que *Caridina* sp., *Thraulius* sp., *Caenis* sp., *Elassoneuria* sp., *Ictinogomphus* sp., *Pseudagrion* sp., et *Ecnomus* sp. sont négativement corrélés à l'axe 1.

Nemathelminthes, *Sphaerium* sp., *Phyllogomphus* sp., Libellulidae et *Micronecta* sp. sont positivement corrélés à l'axe 2, tandis que *Pila* sp., *Melania* sp. et *Aspatharia* sp. sont négativement corrélés à l'axe 2.

L'ordination des prélèvements est représentée à la figure 5.2C.



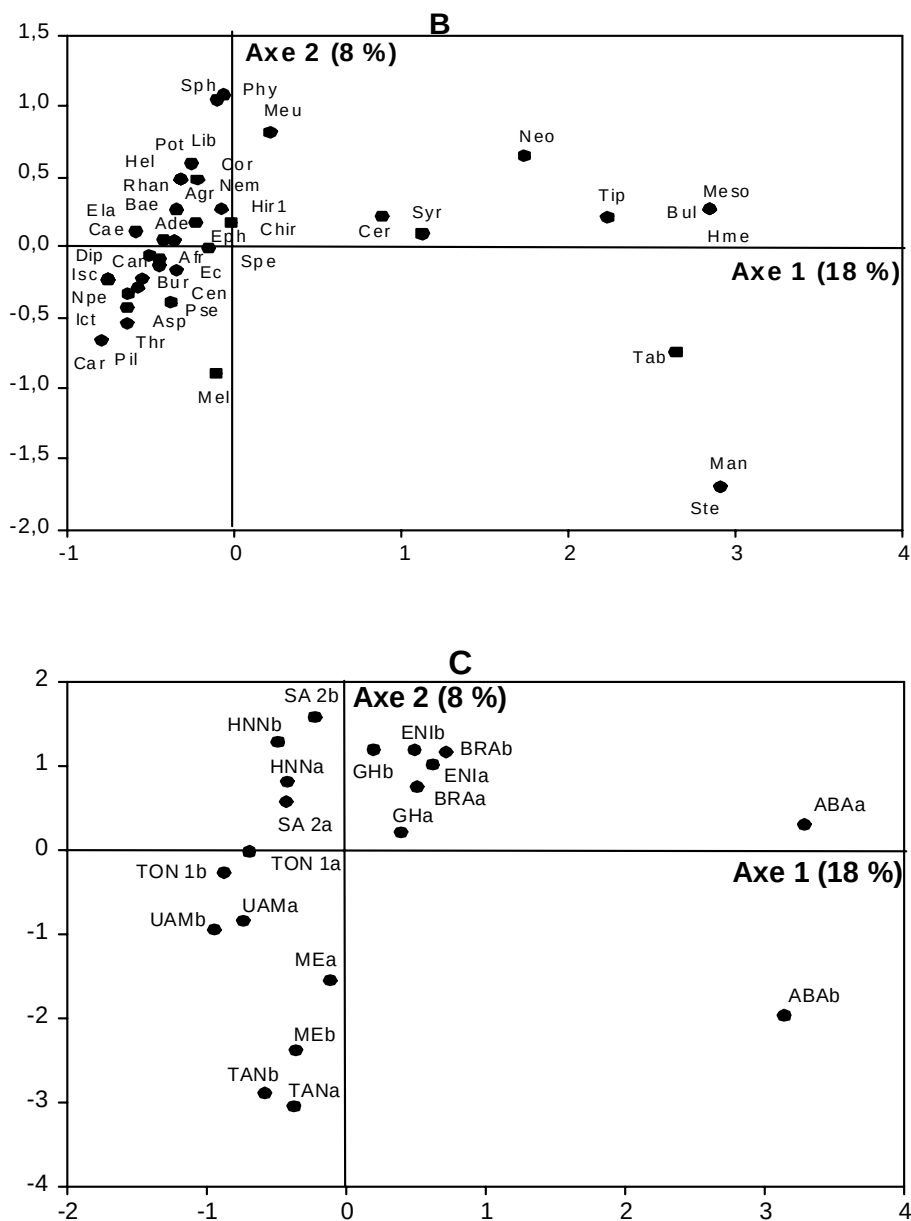


Figure 5.2 : Ordination des facteurs environnementaux (A), des taxons (B) et des prélèvements (C) dans le plan des deux premiers axes de l'ACC en mai-juin 2004 (a) et avril-mai 2005 (b), les facteurs actifs sont en gras et reliés à l'origine des axes.

5.2.2. Relation entre les Chironomidae et les facteurs environnementaux

Ce sous-chapitre a pour objectif d'évaluer la pertinence de l'utilisation des Chironomidae dans l'étude de la qualité des eaux le long du fleuve Niger à Niamey au vu de leur diversité taxonomique et de leur intérêt souligné par la littérature dans ce domaine (TATE et HEINY, 1995 ; ROSENBERG et RESH, 1993 ; SHARLEY et *al.*, 2004; CALLISTO et *al.*, 2002 ; EVRARD, 1996 ; ADRIAENSSENS et *al.*, 2004).

5.2.2.1. Méthode d'échantillonnage au filet troubleau

L'ACC effectuée à partir des données sur les Chironomidae récoltés au filet troubleau explique 63 % de variabilité dans le plan des axes 1 et 2 dont 45 % expliqués par l'axe 1 et 18 % par l'axe 2. L'inertie totale expliquée est de 1,586. La part d'inertie expliquée par les facteurs environnementaux les plus significatifs est de 1,371 soit 86 %. Ces facteurs sont la température, le pH, les nitrites et la conductivité, corrélés à l'axe 1, les orthophosphates corrélés à l'axe 2 et les nitrates corrélés sur les deux axes (Tab.5.2, Fig. 5.3A).

Tableau 5.2 : Corrélation des facteurs environnementaux aux axes 1 et 2 de l'ACC

Facteurs	Axe 1	Axe 2
Temp	0,8987	0,0755
Cond	0,5977	0,0661
pH	0,6949	-0,166
NO3	0,494	-0,4998
NO2	-0,518	0,1998
PO4	-0,3408	-0,8971

Les taxons dont la variance dans le plan formé par les axes 1 et 2 est supérieure ou égale à 10 % (Annexe 5.3) sont : *Chironomus* gr. *plumosus*, *Microchironomus* sp., *Cryptochironomus* sp. 1,

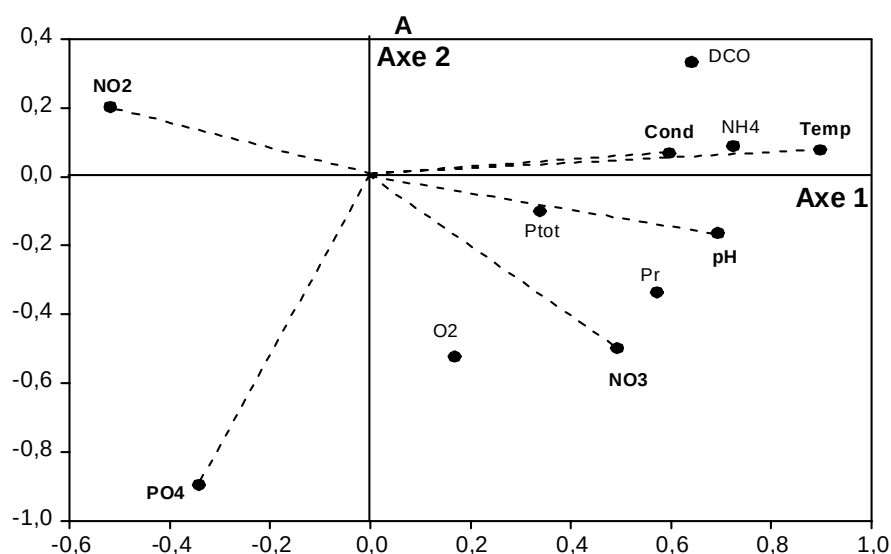
Cryptochironomini sp., *Cryptochironomus* sp. 2, *Xenochironomus* sp., *chironomini* sp 1, *Glyptotendipes* sp., *Polypedilum* sp. 1, *Ablabesmyia* sp., *Micropelopiinae* sp., *Clinotanypus* sp., Cf. *Procladius* sp., *Nilodosis* sp. et *Tanytarsini* sp. (Fig. 5.3B)

- *Cryptochironomus* sp. 1, *Cryptochironomini* sp., *Xenochironomus* sp., *chironomini* sp 1, *Polypedilum* sp. 1, *Micropelopiinae* sp., *Clinotanypus* sp., Cf. *Procladius* sp., et *Nilodosis* sp. sont négativement corrélés à l'axe 1 ;

- *Chironomus* gr. *plumosus*, *Microchironomus* sp. et *Glyptotendipes* sp sont positivement corrélés à l'axe 1 ;

- *Cryptochironomus* sp. 2, *Ablabesmyia* sp. et *Tanytarsini* sp. sont positivement corrélés à l'axe 2.

L'ordination des prélèvements (Fig. 5.3C) montre une hétérogénéité entre les prélèvements de la station BRA et l'absence totale de Chironomidae dans les prélèvements de ABAb et TANb.



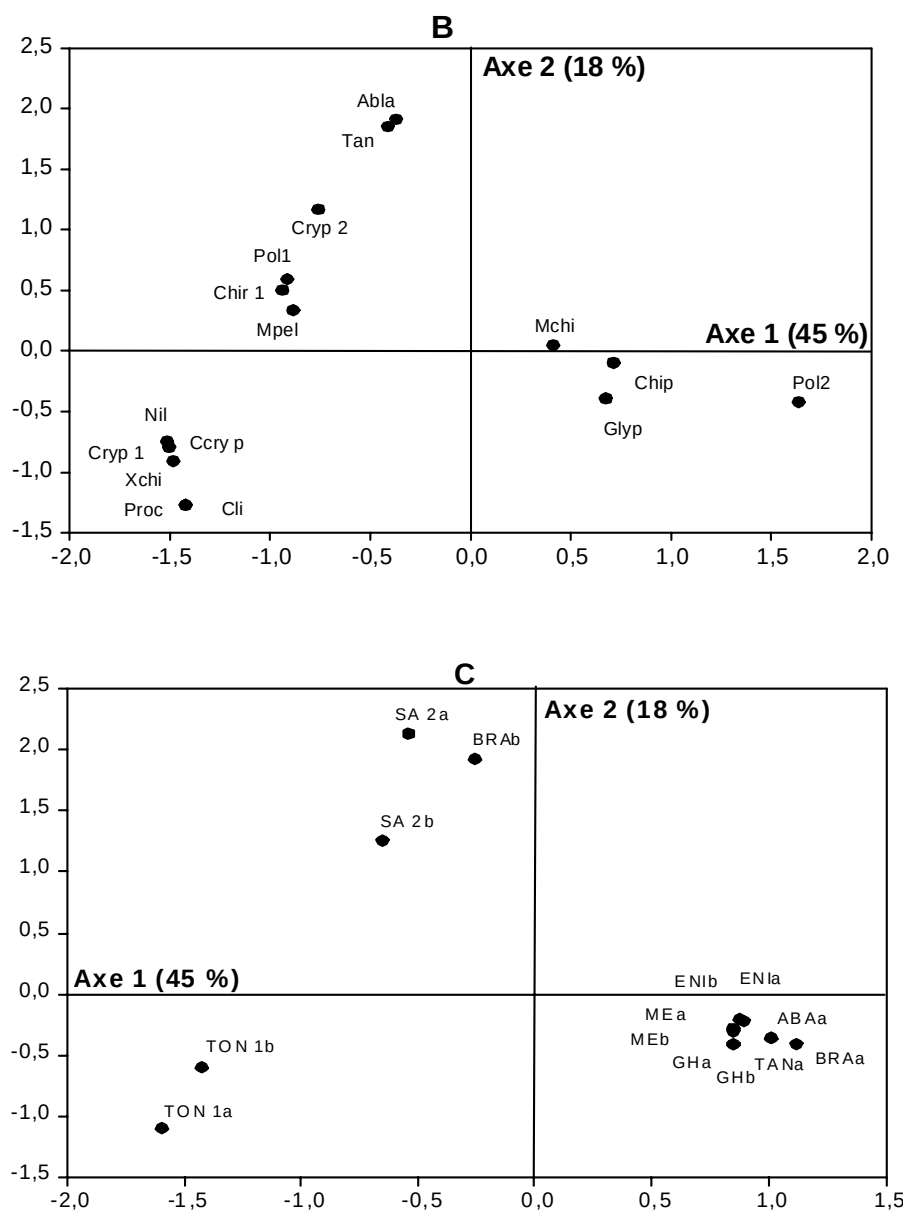


Figure 5.3 : Ordination des facteurs environnementaux (A), des taxons (B) et des prélèvements (C) dans le plan des deux premiers axes de l'ACC en mai 2005 (a) et juin 2005 (b), les facteurs actifs sont en gras et reliés à l'origine des axes.

5.2.2.2. Méthode d'échantillonnage aux substrats artificiels

L'ACC effectuée à partir des données sur les Chironomidae récoltés sur les substrats artificiels explique 42 % de variabilité dans le plan des axes 1 et 2 dont 31 % expliqués par l'axe 1 et 11 % par l'axe 2. L'inertie totale expliquée est de 1,296. La part d'inertie expliquée par les facteurs environnementaux les plus significatifs ($P < 0,05$) est de 0,613 soit 47 %. Ces facteurs sont l'ammonium, les nitrites et la conductivité. La corrélation des facteurs environnementaux aux axes est donnée par le tableau 5.3 et la figure 5.4A.

Tableau 5.3 : Corrélation des facteurs environnementaux aux axes 1 et 2 de l'ACC

Facteurs	Axe 1	Axe 2
Cond	0,0355	0,9188
NH4	0,9569	-0,1305
NO2	0,1604	-0,5719

L'axe 1 est associé aux matières azotées et l'axe 2 aux matières azotées et à la conductivité.

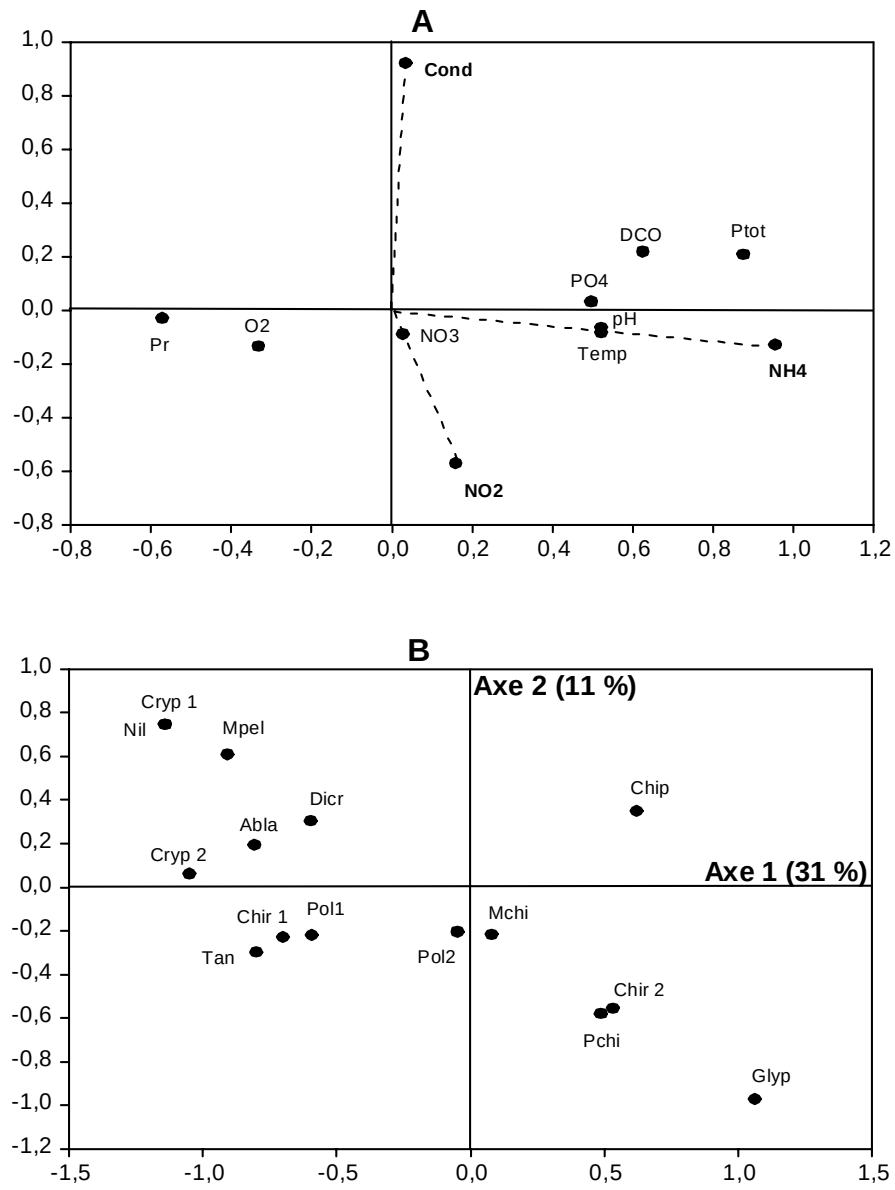
Treize taxons ont une variance supérieure ou égale à 10 % (Annexe 5.4) dans le plan des axes 1 et 2 de l'ACC (Fig. 5.4B). Il s'agit de :

-*Chironomus* gr. *plumosus* et *Glyptotendipes* sp. positivement corrélé à l'axe 1 ;

- *Cryptochironomus* sp. 1, *Cryptochironomus* sp. 2, *Chironomini* sp.1, *Polypedilum* spp. 1, *Dicrotendipes* sp., *Nilodosis* sp., *Ablabesmyia* sp., *Micropelopiinae* sp., et *Tanytarsini* sp. négativement corrélés à l'axe 1 ;

-*Microchironomus* sp. et *Chironomini* sp.2 négativement corrélés à l'axe 2.

L'ordination des prélèvements (Fig. 5.4C) montre une hétérogénéité au sein de la station HNN et l'absence de Chironomidae dans les prélèvements de ABAa et TANb.



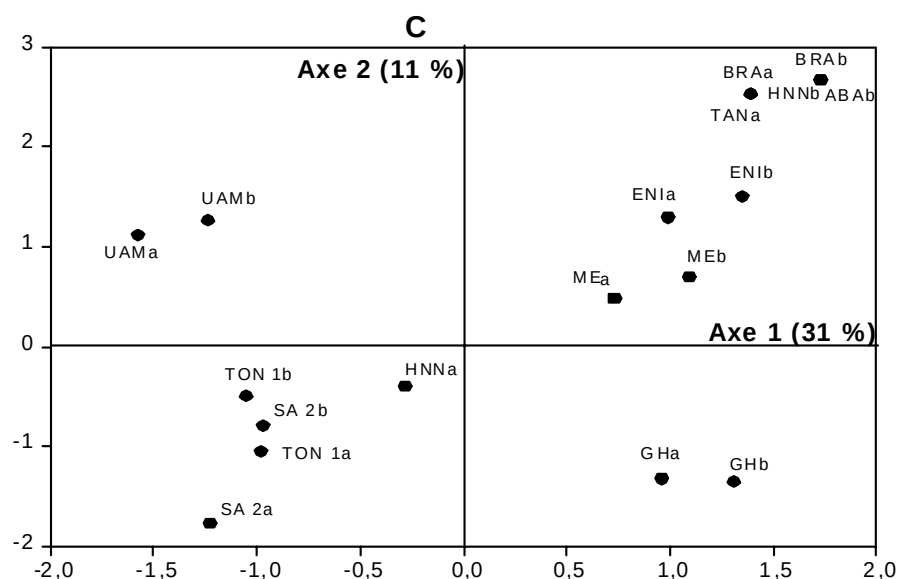


Figure 5.4 : Ordination des facteurs environnementaux (A), des taxons (B) et des prélèvements (C) dans le plan des deux premiers axes de l'ACC en mai-juin 2004 (a) et avril-mai 2005 (b), les facteurs actifs sont en gras et reliés à l'origine des axes.

5.3. Discussion

L'analyse conjointe des macroinvertébrés et des paramètres physico-chimiques montre une différence des caractéristiques biologiques et physico-chimiques entre les stations d'échantillonnage le long du fleuve Niger à Niamey. En effet, les assemblages de macroinvertébrés le long de ce cours d'eau peuvent être significativement expliqués par un certain nombre de facteurs environnementaux variables selon la technique d'échantillonnage.

La variabilité observée dans la distribution des assemblages de macroinvertébrés est mieux mise en évidence avec le filet troubleau (64 %) comparativement aux substrats artificiels (25 %). Cette grande différence pourrait être due au temps limité de colonisation des substrats artificiels par les macroinvertébrés. La même tendance a été observée avec les Chironomidae où 86 % de la variabilité dans la distribution des assemblages sont expliqués avec le filet troubleau et 47 % avec les substrats artificiels.

La part de la variabilité non expliquée par les facteurs environnementaux étudiés peut être liée à d'autres facteurs comme la nature et la qualité du substrat qui n'ont pas été abordées dans cette étude. Le substrat est assez varié le long du fleuve mais très peu diversifié au sein d'une station à l'exception des stations TON1, UAM et SA 2 où l'on rencontre des pierres et des cailloux (Cf. annexe 3.1).

Les assemblages des taxons de macroinvertébrés ayant colonisé les substrats artificiels sont significativement ($P < 0,05$) influencés par la demande chimique en oxygène et les nitrites. Les nitrites, positivement corrélés à l'ammonium ($r = 0,49$) et la demande chimique en oxygène, distingue les stations situées loin des points de rejets des stations en aval immédiat des points de rejets. Ceci laisse ainsi penser à un apport de matière organique provenant des eaux usées. Il ressort sur l'axe 1 (Fig. 5.2C) la station ABA qui est plus polluée par la matière organique et les stations TON 1 et UAM qui sont les moins polluées. Positivement à l'axe 2 se trouvent les stations GH, HNN, BRA, ENI et SA 2 qui présentent une pollution organique intermédiaire reflétée par la présence des nitrites, stade d'oxydation intermédiaire de l'ammonium. Par contre, les facteurs environnementaux expliquent très peu la position des stations ME et TAN par rapport aux autres stations sur l'axe 2. L'isolement de ces deux stations peut être attribué à la dominance quasi-totale de *Melania* sp. que l'on peut associer à l'entassement des débris végétaux au fond du fleuve plus particulièrement à TAN. Cette dernière exerce une influence sur la station la plus proche en aval qui est ME.

Les assemblages des macroinvertébrés établis à partir de l'échantillonnage au filet troubleau sont significativement influencés par l'oxygène dissous, le phosphore total, les orthophosphates, la profondeur et le pH. L'ordination des facteurs environnementaux représentée à la figure 5.1A et la corrélation de la profondeur avec l'ammonium ($r = 0,78$) permettent d'associer l'axe 1 à la pollution organique exprimée par les ions ammonium. Sur cet axe deux groupes de stations se définissent : le premier est composé de BRA, ME, ABA et TAN plus polluées en matières organiques que le second groupe composé de TON 1 et SA 2.

Sur l'axe 2, la corrélation du phosphore total à la DCO ($r = 0,68$) et à l'ammonium ($r = 0,55$) traduit une pollution organique qui caractérise les stations GH et ENI.

L'analyse taxonomique fait ressortir deux grands groupes de l'ordination effectuée à partir des substrats artificiels et du filet troubleau.

-Le premier groupe est composé de *Thraulius* sp., *Caenis* sp., *Centroptiloïdes* sp., *Baetis* sp., *Afronurus* sp., *Ephemerellina* sp., *Rhantaticus* sp., *Canthydrus* sp. et *Ecnomus* sp. Il est composé essentiellement d'éphéméroptères parmi lesquels on trouve des coléoptères et des trichoptères. Il est négativement corrélé à la DCO, au phosphore total et aux orthophosphates, ce qui peut être lié à la sensibilité des taxons de ce groupe à la pollution organique et phosphorée. Ces taxons sont d'ailleurs essentiellement récoltés dans les stations situées loin des points de rejets de la ville de Niamey à savoir TON 1, SA 2 et UAM où les indices de qualité et d'aptitude à la biologie relatifs aux matières azotées, phosphorées, organiques et oxydables établis à partir du SEQ-Eau sont meilleurs. Ils sont par contre rares ou quasi absents dans les stations en aval immédiat des points de rejets où ces mêmes indices indiquent une situation moins favorable à l'installation d'une biodiversité satisfaisante. D'ailleurs, les éphéméroptères et les trichoptères auxquels s'ajoutent les plécoptères sont beaucoup utilisés comme indicateurs de pollution à travers plusieurs indices dont entre autres le pourcentage des taxons ETP (éphéméroptères, trichoptères, plécoptères) dans un échantillon et le rapport ETP sur ETP plus chironomidae (COIMBRA et al., 1996 ; BISPO et al., 2006) grâce à leur polluo-sensibilité qui explique leur présence dans des eaux de bonne qualité et bien oxygénées. Dans le même ordre, OGBOGU (2001) met aussi en évidence une corrélation positive entre le genre *Caenis* et l'oxygène dissous.

-Le deuxième groupe est composé de *Bulunus* sp., *Micronecta* sp., *Mesovelina* sp., *Neohydrophilus* sp., Syrphidae, Tipulidae, Tabanidae et Ceratopogonidae. Ce groupe semble avoir une affinité pour la matière organique qui pourrait être justifiée entre autres par la présence des Syrphidae. Ces taxons sont essentiellement échantillonnés dans les stations situées en aval immédiat des points de rejets parmi lesquelles GH, ABA et BRA. Ces dernières figurent parmi les stations les plus polluées d'après l'analyse physico-chimique des eaux dans les stations de prélèvement.

L'approche qui utilise les Chironomidae et les facteurs environnementaux semble exprimer la plus grande variabilité dans les assemblages taxonomiques. La variabilité expliquée est de 86 % pour le filet troubleau contre 64 % en utilisant tous les macroinvertébrés.

Elle est de 47 % avec les substrats artificiels contre 25 % en se servant de tous les macroinvertébrés.

A partir de l'ordination des facteurs environnementaux représentée à la figure 5.3A (méthode au filet troubleau) et de la corrélation de la température, de la conductivité et des nitrates avec l'ammonium ($r = 0,87$; $0,54$ et $0,49$) d'une part puis avec la demande chimique en oxygène ($r = 0,68$ et $0,80$ pour la température et la conductivité respectivement) d'autre part nous avons associé l'axe 1 à la pollution organique. Cette dernière est exprimée par les ions ammonium et la DCO. Sur le même axe, les nitrites sont négativement corrélés à l'ammonium. Sur cet axe, deux groupes de stations se distinguent (Fig. 5.3C) : le premier est composé de GH, TAN, ME, ABA, BRA et ENI plus polluées en matières organiques que le second groupe composé uniquement de la station de référence, TON 1.

Sur l'axe 2, la corrélation négative des orthophosphates à la DCO ($r = -0,35$) permet d'associer cet axe à la pollution organique et phosphorée. La corrélation de la DCO et des orthophosphates à l'axe 2 ($r = 0,33$ et $-0,90$) permet d'affecter à la station SA 2 une pollution organique modérée et une faible pollution phosphorée.

Sur les substrats artificiels, les assemblages des Chironomidae sont significativement ($P < 0,05$) influencés par l'ammonium, les nitrites et la conductivité.

L'ammonium est positivement corrélé au phosphore total ($r = 0,86$), à la DCO ($r = 0,38$) et aux orthophosphates ($r = 0,31$). Ceci permet d'associer l'axe 1 à la pollution azotée, organique et phosphorée.

L'axe 2 par contre peut être associé à une pollution organique modérée reflétée par les ions nitrites, stade intermédiaire d'oxydation des ions ammonium. A l'opposé des ions nitrites, la conductivité négativement corrélée à l'oxygène dissous ($r = -0,45$) indique une pollution organique beaucoup plus importante.

Il ressort du plan formé par les axes 1 et 2 (Fig. 5.4C) trois groupes de stations :

- le premier groupe composé de HNN, TAN, ME, ABA, BRA et ENI qui présente plus de pollution organique, azotée et phosphorée ;
- le deuxième groupe composé de GH est pollué par les matières organiques, azotées et phosphorées sur l'axe 1. Mais il est lié sur l'axe 2 à un stade intermédiaire d'oxydation des ions ammonium ;

-le troisième groupe est le moins pollué par les matières organiques, azotées et phosphorées. Il est composé de TON 1, UAM et SA 2.

Dans cette étude, la polluo-sensibilité des Chironomidae semble un peu varier selon la technique utilisée. Ainsi, il ressort de l'échantillonnage avec le filet troubleau que *Chironomus* gr. *plumosus*, *Microchironomus* sp. et *Glyptotendipes* sp. sont positivement corrélés à l'axe 1 tandis que *Cryptochironomus* sp. 1, *Cryptochironomini* sp., *Xenochironomus* sp., *Chironomini* sp. 1, *Polypedilum* spp. 1, *Micropelopiinae* sp., *Clinotanypus* sp., Cf. *Procladius* sp. et *Nilodosis* sp. le sont négativement.

Les premiers parmi lesquels figure *Chironomus* gr. *plumosus* peuvent être alors considérés comme des taxons tolérants la pollution organique, azotée et phosphorée et les seconds plus sensibles à cette pollution. COIMBRA et al. (1996) et plusieurs autres études (CALLISTO et al., 2002 ; MARQUES et al., 1999 ; PETRUCIO et FURTADO, 1998) ont souligné la polluo-tolérance de *Chironomus* gr. *plumosus* surtout à la matière organique. Par contre, PRAT et al. (1992) puis REAL et PRAT (1992) ont souligné la présence de *Procladius*, *Microchironomus* et *Cryptochironomus* tous micro-carnivores dans des réservoirs à faible production primaire.

La corrélation positive de *Cryptochironomus* sp. 2, *Ablabesmyia* sp. et *Tanytarsini* sp. à l'axe 2 nous amène à les considérer comme un groupe de taxons à polluo-sensibilité intermédiaire.

Avec les substrats artificiels, *Chironomus* gr. *plumosus*, et *Glyptotendipes* sp. présentent sur l'axe 1 (Fig. 5.4B) plus d'affinité pour la pollution organique, azotée et phosphorée. A l'opposée de ce groupe se trouvent *Cryptochironomus* sp. 1, *Cryptochironomus* sp. 2., *Chironomini* sp. 1, *Polypedilum* spp. 1, *Dicrotendipes* sp., *Nilodosis* sp., *Ablabesmyia* sp., *Micropelopiinae* sp. et *Tanytarsini* sp. qui peuvent être considérés comme plus sensibles à cet type de pollution.

Corrélés négativement à l'axe 2 (Fig. 5.4B), *Microchironomus* sp. et *Chironomini* sp. 2 peuvent être considérés comme des taxons à polluo-sensibilité modérée.

Il ressort de ce chapitre que la méthode d'échantillonnage des macroinvertébrés au filet troubleau reflète mieux l'altération physico-chimique relevée par l'approche physico-chimique comparativement à la méthode des substrats artificiels qui est sous contrainte temporelle et exposée au sabotage. En plus, l'utilisation des Chironomidae

permet de mieux refléter l'altération physico-chimique de l'eau du fleuve Niger à Niamey que tous les macroinvertébrés réunis.

Références bibliographiques

- ADRIAENSSENS V., SIMONS F., NGUYEN Lien T. H., GODDEERIS B., GOETHALS Peter L. M. and DE PAUW N., 2004.** Potential of bio-indication of chironomid communities for assessment of running water quality in Flanders (Belgium). *Belgian journal of zoology*, 134: 31-40.
- BISPO P. C., OLIVEIRA L. G., BINI L. M. and SOUSA K. G., 2006.** Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. *Brazilian Journal of Biology*, 66: 611-622.
- BRODERSEN K. P., PEDERSEN O., LINDEGAARD C. and HAMBURGER K., 2004.** Chironomids (Diptera) and oxy-regulatory capacity: An experimental approach to paleolimnological interpretation. *Limnology and Oceanography*, 49: 1549-1559.
- CALLISTO, M., MORENO, P., GONÇALVES, J. F. Jr., LEAL, J. J. F. et ESTEVES F. A., 2002.** Diversity and biomass of Chironomidae (Diptera) larvae in an impacted coastal lagoon in Rio De Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 62: 77-84.
- COIMBRA C. N., GRAÇA M. A. S. et CORTES R. M., 1996.** The effects of a basic effluent on macroinvertebrate community structure in a temporary Mediterranean river. *Environmental Pollution*, 94: 301-307.
- EVARD, M., 1996.** Utilisation des exuvies nymphales de Chironomidae (Diptera) en tant qu'indicateurs biologiques de la qualité des eaux de surface wallonnes. Thèse de Doctorat, FUNDP, Presses Universitaires de Namur (Belgique), 205 p.
- EVARD M. et MICHA J.-C., 1995.** Relation entre la diversité du substrat et la diversité faunistique dans un bief belge de la rivière Meuse. *Annales de Limnologie*, 31 : 93-103.
- HART R. C., CAMPBELL L. M. and HECKY R. E., 2003.** Stable isotope analyses and demographic responses counter prospects of planktivory by *Caridina* (Decapoda: Atyidae) in Lake Victoria. *Oecologia*, 136: 270-278.
- JAHAN S., AKTER S., SARKER M., RAHMAN R. and PRAMANIK, 2001.** Growth ecology of *Pila globosa* (Swainson) (Gastropoda: Pilidae) in simulated habitat. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4: 581-584.

- MARQUES M. M. G. S. M., BARBOSA F. A. R. and CALLISTO M., 1999.** Distribution and abundance of Chironomidae (Diptera, Insecta) in an impacted watershed in South-East Brazil. *Revue of Brazilian Biology*, 59: 553-561.
- MISERENDINO M. L. and PIZZOLON L. A., 2003.** Distribution of macroinvertebrate assemblages in the Azul-Quemquemtreu river basin, Patagonia, Argentina. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 37: 525-539.
- MISERENDINO M. L., 2001.** Macroinvertebrate assemblages in Andean Patagonian rivers and streams: environmental relationships. *Hydrobiologia*, 444: 147-158.
- NDIFON and UKOLI, 1989.** Ecology of freshwater snails in southwestern Nigeria. I: Distribution and habitat preferences. *Hydrobiologia*, 171: 231-253.
- NEGISHI and RICHARDSON, 2003.** Responses of organic matter and macroinvertebrates to placements of boulder clusters in a small stream of southwestern British Columbia, Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 60: 247-258.
- OGBOGU S. S., 2001.** Factors affecting the distribution and abundance of *Cloen* and *Caenis* (Ephemeroptera) larvae in a tropical impounded river, Nigeria. *African Journal of Ecology*, 39: 106-112.
- PETRUCIO, M. M. and FURTADO, A. L. S., 1998.** Concentrações de nitrogênio e fósforo da coluna d'água da lagoa Imboassica. In: CALLISTO M., MORENO P., GONÇALVES J. F. Jr., LEAL J. J. F. and ESTEVES F. A., 2002. Diversity and biomass of Chironomidae (Diptera) larvae in an impacted coastal lagoon in Rio De Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 62: 77-84.
- PISCART C., MORETEAU J.-C. and BEISEL J.-N., 2005.** Biodiversity and structure of macroinvertebrate communities along a small permanent salinity gradient (Meurthe River, France). *Hydrobiologia*, 551: 227-236.
- REAL M. and PRAT N., 1992.** Factors influencing the distribution of Chironomids and Oligochaetes in profundal areas of Spanish reservoirs. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 26(2-4): 405-410.
- ROSENBERG, D. M. et RESH, V. H., 1993.** Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates: In EGGERMONT H, VERSCHUREN D. et DUMONT H., 2005. Taxonomic diversity and biogeography of Chironomidae (Insecta: Diptera) in lakes of tropical

West Africa using subfossil remains extracted from surface sediments. *Journal of Biogeography*, 32:1063-1083.

ROSILLON D., 1983. Etude quantitative de l'impact d'une pollution organique sur la biocénose benthique d'une rivière salmonicole: La Lhomme (Belgique). *Annles de la Societé royale de zoologie de Belgique*, 1 : 19-30

SCHUWERACK P.-M. M., LEWIS J. W. and JONES P., 2001. The potential use of the South African river Crab, *Potamonautes warreni*, as a bioindicator species for heavy metal contamination. *Ecotoxicology*, 10: 159-166.

SHARLEY D. J., PETTIGROVE V. and PARSONS Y. M., 2004. Molecular identification of *Chironomus* spp. (Diptera) for biomonitoring of aquatic ecosystems. *Australian Journal of Entomology*, 43: 359-365.

TARR T. L., BABER M. J. and BABBITT, 2005. Macroinvertebrate community structure across a wetland hydroperiod gradient in southern New Hampshire, USA. *Wetlands Ecology and Management*, 13: 321-334.

TATE C. M. and HEINY J. S., 1995. The ordination of benthic invertebrate communities in the South Platte River Basin in relation to environmental factors. *Freshwater Biology*, 33: 439-454.

TER BRAAK C. J. F. and SMILAUER P., 1999. CANOCO for Windows (version 4.02)- a FORTRAN program for canonical community ordination. Centre for biometry Wageningen. Wageningen. The Netherlands.

VERNEAUX J.P. Fondements biologiques et écologiques de l'étude de la qualité des eaux continentales. Principales méthodes biologiques In : PESSON, 1980. La pollution des eaux continentales : indices sur les biocénoses aquatiques, 2^e édition. Bordas, Paris (France), pp. 229-273.

YOUNES-BARAILLE Y., GARCIA X.-F. and GAGNEUR J., 2005. Impact of the longitudinal and seasonal changes of the water quality on the benthic macroinvertebrate assemblages of the Andorran streams. *Compte Rendu Biologies*, 328 : 963-976.

Chapitre 6 : Synthèse et discussion générales

Cette étude a pour objectif d'établir l'état de la pollution des eaux du fleuve Niger sous l'influence des rejets de la ville de Niamey. Elle a été menée à travers deux approches complémentaires. Il s'agit de l'approche physico-chimique et de l'approche biologique basée sur les macroinvertébrés. Des analyses statistiques simples et multivariées ont été utilisées pour traiter les données.

Ce chapitre donne une synthèse des résultats et une analyse critique et comparative des deux approches utilisées.

6.1. Synthèse

6.1.1. Inventaire des sources de pollution

L'inventaire des sources de pollution n'est sans doute pas exhaustif car essentiellement focalisé sur les points de rejets des eaux usées dans le fleuve Niger à Niamey mais aussi sur les macropolluants. Il devrait cependant être étendu à :

- l'étude des micropolluants dont la présence peut être importante dans les rejets d'eaux usées et liée au déversement de toutes sortes de déchets sans tri préalable dans les collecteurs d'eaux usées ;
- l'étude bactériologique déjà abordée par d'autres études (ANONYME, 2001 ; ANONYME, 2000 ; AWA, 2002).

L'absence d'un système séparatif des eaux usées (domestiques, industrielles, hospitalières) rend difficile la mise en évidence de l'impact direct de certaines sources de pollution sur la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey.

Mais globalement, il ressort de l'analyse des caractéristiques physico-chimiques de chaque point de rejets qu'aucun ne répond au projet de normes nationales pour les rejets.

La problématique de la gestion des eaux usées et de son impact sur l'environnement immédiat réside essentiellement dans l'absence d'un système de traitement et d'évacuation adéquat, le manque de suivi régulier de la qualité et de la quantité des rejets, mais aussi dans l'absence de rigueur dans l'application des textes réglementaires en la matière. Les moyens de mise en œuvre d'un tel dispositif de gestion des eaux usées pourrait constituer un facteur limitant face aux multiples priorités d'un pays comme le Niger (GARBA, 1995). L'appui à la recherche des procédés locaux et appropriés de traitement des déchets liquides et solides et leur réutilisation (SEIDL et

MOUCHEL, 2003 ; AMIR et HAFIDI, 2001 ; LAOUALI et *al.*, 2005) dans la production (industrie, sylviculture, agriculture) pourrait réduire le risque lié à l'utilisation directe des eaux usées dans le petit maraîchage (utilisation directe en irrigation), sur les eaux souterraines (perte par infiltration) et la santé humaine (stagnation des eaux usées dans la majorité des collecteurs de la ville).

Néanmoins, il ressort de l'évaluation de la charge polluante que l'impact des rejets d'eaux usées de la ville de Niamey est très faible sur l'ensemble de l'écosystème, fleuve Niger. Mais le déversement sur les berges de ces rejets présente des risques sur la population riveraine qui utilise l'eau du fleuve pour diverses activités.

6.1.2. Approche physico-chimique

Elle est basée sur les analyses de variance, le SEQ-Eau et les analyses en composantes principales.

6.1.2.1. Analyse de variance

L'analyse de variance a permis de définir un set de descripteurs qui expliquent de manière significative ($P < 0,05$) la différence entre les stations de prélèvement sans tenir compte de l'effet interactif des descripteurs sur le site échantillonné. Ce set de descripteurs est scindé en facteurs relatifs à la minéralisation (conductivité, pH), facteurs liés à la pollution organique (demande chimique en oxygène, oxygène dissous, saturation en oxygène) et en nutriments (ammonium, nitrites, orthophosphates, phosphore total). Cette subdivision indique le type d'altération que subissent les eaux du fleuve Niger à Niamey en passant de l'amont à l'aval des points de rejets.

La température, les nitrates, la profondeur de l'eau, le débit et les matières en suspension ne sont pas significativement différents d'une station à une autre pour une même période d'échantillonnage.

L'analyse de variance a également relevé une différence très significative de concentration des différents facteurs en fonction du régime du fleuve avec une différence très marquée en saison des pluies. Les apports provenant des eaux de ruissellement qui drainent les champs de culture et la ville de Niamey seraient à l'origine de cette différence.

D'une manière générale, les stations de référence (TON 1, TON 2) situées en amont de tous les rejets de la ville de Niamey ont des concentrations plus faibles et significativement différentes des autres stations placées en aval immédiat des points de rejets.

Cette première approche met bien en évidence la variabilité dans le temps et dans l'espace des caractéristiques physico-chimiques des eaux du fleuve Niger à Niamey en passant de l'amont à l'aval des points de rejets.

6.1.2.2. SEQ-Eau

L'approche SEQ-Eau est basée sur un groupe de facteurs qui expriment un même type d'altération. Elle a permis un classement direct des stations de prélèvements dans des classes de qualité en fonction de leur indice de qualité.

Le suivi de la qualité des eaux du fleuve Niger de l'amont à l'aval des rejets de la ville de Niamey en rapport avec les matières organiques et oxydables, les matières azotées et les matières phosphorées met bien en évidence les différences entre les stations et entre les périodes d'échantillonnage. Les stations en amont de tous les points de rejets (TON 1, TON 2) présentent une eau de qualité bonne et bien meilleure comparée à la qualité de l'eau aux autres stations. Les stations en aval immédiat des rejets de la brasserie du Niger, de l'abattoir et des rejets domestiques débouchant près du grand hôtel présentent une eau de mauvaise qualité.

Ces stations reçoivent des rejets chargés en matière organique ($1\,179\text{ mg l}^{-1}$ à RBRA, $5\,878\text{ mg l}^{-1}$ à RABA, 579 mg l^{-1} à RGH), en éléments minéraux ($2\,046\text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$ à RGOU, $1\,342\text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$ à RBRA, $1\,187\text{ }\mu\text{S cm}^{-1}$ à RABA), en ammonium (76 mg l^{-1} à RABA, 59 mg l^{-1} à RGOU, 44 mg l^{-1} à RGH) et en matières en suspension ($1\,400\text{ mg l}^{-1}$ à RGH, $1\,233\text{ mg l}^{-1}$ à RABA, $1\,060\text{ mg l}^{-1}$ à RGOU). La concentration de ces points de rejets en oxygène dissous est $\leq 3\text{ mg l}^{-1}$, en orthophosphates de 2 mg l^{-1} (RBRA) à 20 mg l^{-1} (RABA) et en phosphore total de 5 mg l^{-1} (RBRA) à 15 mg l^{-1} (RABA). La station à l'aval de l'abattoir renferme d'importants dépôts solides provenant des contenus stomacaux. La station à l'aval du grand hôtel subit à la fois l'influence des rejets du Gountiyéna situé à environ 300 m en aval ($4\,858\text{ m}^3\text{ j}^{-1}$) et ceux qui débouchent près du grand hôtel ($2\,645\text{ m}^3\text{ j}^{-1}$).

En saison des pluies, la qualité de l'eau se détériore avec les apports des eaux de ruissellement qui charrient et déversent dans le fleuve les déchets de la ville et des environs riches en matières organiques. Elle s'améliore en période de crue, période correspondant à un fort pouvoir de dilution du fleuve contrairement à l'étiage où il se produit une forte concentration (ALLAN, 1995 ; AKPAN et OFFEM, 1993). Ce résultat

ressort bien de l'analyse de variance et reflète le pouvoir de dilution du fleuve Niger à Niamey pendant cette période.

Le SEQ-Eau a permis en plus d'évaluer à partir de chaque type d'altération l'aptitude de l'eau à maintenir l'équilibre biologique. Il a permis ainsi de définir pour chaque type d'altération le facteur le plus déclassant. Les facteurs déclassants pour la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey en relation avec les matières organiques et oxydables, les matières azotées et phosphorées sont la demande chimique en oxygène, l'ammonium, les orthophosphates, le phosphore total et l'oxygène dissous.

6.1.2.3. Analyse en composantes principales

Mieux que les deux analyses précédentes, l'analyse en composantes principales permet une ordination des stations de prélèvements à partir d'un jeu de données environnementales. Les variations en fonction des périodes d'échantillonnage sont bien mises en évidence (Fig. 3.20 et 3.21). Ces variations sont marquées en étiage par une baisse importante du niveau de l'eau dans le fleuve sous l'influence du vent ($3 \text{ à } 4 \text{ m s}^{-1}$) et de la température (30°C) qui entraînent une forte évapotranspiration (250 à 300 mm par mois). VLOK et ENGELBRECHT (2000) lient les fortes concentrations en orthophosphates enregistrées en basses eaux, dans la rivière de Letaba en Afrique du sud, à une forte évaporation. L'accroissement des activités humaines (baignade, lessive, vaisselle, pêche) et la présence du bétail constituent une source d'apport en nutriments (ammonium, phosphore) à travers les déjections et les détergents (JOHNES *et al.*, 1996) susceptible d'altérer la qualité de l'eau dans le fleuve Niger à Niamey. En saison des pluies, les concentrations en ammonium, en demande chimique en oxygène, en orthophosphates, en phosphore total et en matières en suspension des eaux du fleuve Niger à Niamey sont les plus élevées. Par contre, les concentrations en oxygène dissous n'ont pas significativement changées sauf à ABA, GH et BRA. NDARUGA *et al.* (2004) n'ont pas également noté une variation saisonnière de l'oxygène dissous dans le bassin de Gatharaini au Kenya. La qualité des eaux en saison des pluies est relativement plus faible à cause des apports pluvieux dans le fleuve. Aucun dispositif de traitement des eaux d'écoulement n'est prévu avant d'être évacuées vers le milieu récepteur.

L'ordination des stations dans les plans des composantes principales permet de séparer les stations en amont des points de rejets (TON 1, TON 2), des stations en aval loin des rejets (SA 1, SA 2) et des

stations en aval immédiat des rejets. Sur le plan d'une ordination, les stations SA 1 et SA 2 avoisinent toujours les stations de référence TON 1 et TON 2 (Fig. 3.23, 3.25 et 3.27). Cet ordre de classement traduit une détérioration en aval immédiat des points de rejets puis une restauration de la qualité des eaux en aval loin des rejets.

L'analyse en composantes principales confirme la demande chimique en oxygène, l'ammonium, les orthophosphates, le phosphore total et l'oxygène dissous comme descripteurs importants dans la caractérisation physico-chimique des eaux du fleuve Niger à Niamey.

6.1.3. Approche biologique

L'approche biologique est basée sur la distribution des peuplements de macroinvertébrés le long du fleuve Niger à Niamey. L'étude de la structure des peuplements et de l'ordination des taxons à partir de l'analyse des correspondances aboutit à une bonne caractérisation biologique des stations d'échantillonnage. Elle montre l'évolution de la richesse et de la diversité taxonomique le long des stations. Ainsi, la richesse et la diversité taxonomique diminuent en passant de l'amont à l'aval des points de rejets. Les stations de référence et les stations en aval loin des rejets présentent comme dans le SEQ-Eau une diversité plus satisfaisante comparativement aux stations en aval immédiat des rejets.

Il ressort de l'ordination des taxons que les stations en amont et en aval loin des rejets sont les moins polluées et abritent des taxons qui sont sensibles à la pollution comme *Thraululus sp.*, *Elassoneuria sp.*, *Afronurus sp.*, *Centropiloides sp.*, *Adenophlebia sp.*, *Dipseudopsis sp.* et *Neoperla sp.*

Les stations en aval immédiat de la brasserie du Niger et de l'abattoir paraissent être les plus polluées avec la présence des taxons comme *Chironomus gr. plumosus.*, *Syrphidae* et *Culicidae*.

Le changement dans la composition des assemblages taxonomiques, l'indice de diversité de Shannon-Weaver et l'abondance des taxons sont des indicateurs d'une modification de la qualité de l'eau et de l'habitat en passant de l'amont à l'aval des points de rejets de la ville de Niamey. La diminution du nombre ou l'absence de certains taxons appartenant aux éphéméroptères, plécoptères et trichoptères en aval immédiat des points de rejets reflète la différence de la qualité des eaux et de l'habitat entre les stations situées dans les zones de rejets et celles en amont et en aval loin des rejets (DEATH, 1995 ; FLECKER et FLEIFAREK, 1994).

Les résultats de cette analyse concordent avec les résultats des analyses précédentes.

6.1.4. Approche abiotique et biotique

L'approche abiotique et biotique met en relation les macroinvertébrés et les descripteurs environnementaux pour expliquer la distribution des communautés le long du fleuve Niger à Niamey. Contrairement aux approches précédentes, elle définit les descripteurs qui contribuent de manière significative à la formation des différentes structures de communautés. L'écologie des taxons est déterminante dans la contribution d'un descripteur à la formation d'une structure de communauté. Nous mettons bien en évidence l'interaction entre la valence écologique des taxons et la contribution des descripteurs à une structure de communauté en réalisant une analyse canonique de correspondance avec tous les taxons puis en reprenant la même analyse avec la famille des Chironomidae uniquement.

Ainsi, les descripteurs qui expliquent de manière significative la distribution des communautés des macroinvertébrés récoltés le long du fleuve Niger à Niamey et des Chironomidae pris séparément sont en corrélation avec la matière organique et les nutriments. Ces résultats nous amènent à conclure que la matière organique et les nutriments régissent la distribution des communautés des macroinvertébrés le long du fleuve Niger à Niamey.

L'analyse de la composition des assemblages des macroinvertébrés en relation avec les facteurs environnementaux significatifs permet de faire le lien entre la présence de certains taxons comme *Chironomus*, *Polypedilum* et *Microchironomus* à dominance détritivore avec la concentration en nutriments et en matière organique du milieu (PETRUCIO et FURTADO, 1998 ; FURTADO et al., 1997).

NDIFON et UKOLI (1989) en traitant de l'écologie des mollusques dans le sud-ouest du Nigeria montrent que les taxons comme les *Lymnaea*, *Biomphalaria* et *Melania* sont résistants à la pollution liée à la matière organique végétale. L'entassement des débris végétaux, à la station TAN, provenant de l'utilisation des gousses d'*Acacia nilotica* dans le tannage des peaux pourrait expliquer la dominance de *Melania* sp. à cette station et à la station la plus proche en aval.

6.2. Discussion

6.2.1. Analyse critique des approches utilisées

L'approche physico-chimique présente l'inconvénient d'être basée sur un kit minimum de paramètres reflétant l'altération de l'eau au moment du prélèvement. Dans le cadre de cette étude, ce kit est composé d'éléments majeurs, de paramètres de pollution organique et de nutriments sensés refléter la pollution produite par les différents types de sources de pollution qui pour la plupart sont des industries agroalimentaires et des rejets domestiques auxquels on peut associer les rejets hospitaliers. Il ne prend pas en compte les micropolluants qui pourraient provenir du rejet de déchets de toute sorte dans les collecteurs d'eaux usées.

L'approche biologique utilisant les macroinvertébrés est basée sur trois techniques d'échantillonnage : le filet troubleau, les substrats artificiels et la jacinthe d'eau. Ces trois techniques sont utilisées à des régimes précis du fleuve Niger : la jacinthe d'eau en période de crue, le filet troubleau et les substrats artificiels en étiage. Aucune de ces techniques n'a permis d'établir une évolution saisonnière de la faune de macroinvertébrés du fleuve Niger à Niamey. Mais, l'analyse des différents prélèvements par technique a permis de mettre en évidence l'instabilité des communautés de macroinvertébrés le long des berges. Nous avons corroboré cette instabilité à la dynamique de retrait de l'eau du fleuve du lit majeur. L'application de ces techniques limitée le long des berges n'a pas aussi permis d'étudier la variation transversale des macroinvertébrés. Elles sont inappropriées pour être appliquées au milieu de ce grand fleuve. Elles ont néanmoins servi à étudier la pollution liée aux rejets des eaux usées de la ville de Niamey directement sur les berges. Ces déversements à débits très faibles par rapport au débit du fleuve présente un impact beaucoup plus localisé sur les zones assez fréquentées par la population. Cet impact est non perceptible à l'échelle de l'écosystème à cause de la dilution qui est forte. La présence de la population le long du fleuve est d'ailleurs l'une des contraintes liées à l'utilisation des substrats artificiels. L'utilisation de la jacinthe d'eau n'est pas idéale dans l'étude de l'impact des rejets de la ville de Niamey sur la qualité des eaux du fleuve Niger à cause de sa présence uniquement en période de crue du fleuve, c'est-à-dire au moment où la dilution est forte. Mais, son utilisation apporte des informations complémentaires sur la connaissance de la biodiversité des macroinvertébrés du fleuve.

La taxonomie des macroinvertébrés constitue également un facteur limitant. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes limités pour certains groupes de macroinvertébrés à l'ordre et pour d'autres à la famille faute de trouver des spécialistes maîtrisant la faune africaine et une clé appropriée pour la détermination des différents groupes taxonomiques. Le terme taxon a donc été utilisé dans tous les commentaires pour désigner les différents niveaux de détermination taxonomique (ordre, famille, sous famille, genre, espèce).

6.2.2. Pertinence des deux approches dans la mise en évidence de l'impact des rejets

La complémentarité recherchée à travers l'utilisation de ces deux approches réside dans la pertinence écologique et la mise en évidence de la cause de la perturbation. Prises isolément, ces approches ont permis de mettre en évidence des différences entre les stations de prélèvements en passant de l'amont à l'aval des points de rejets. Ces différences sont également ressorties de l'ordination des macroinvertébrés sous la contrainte des facteurs environnementaux. Ceci sous-tend que les macroinvertébrés reflètent bien la physico-chimie des eaux du fleuve Niger à Niamey. Les deux approches convergent alors vers les mêmes résultats, l'une exprimant les causes de l'altération (physico-chimie) et l'autre la pertinence écologique c'est-à-dire l'impact sur les structures de communautés des macroinvertébrés.

L'absence d'une faune de macroinvertébrés de référence nous a amené à raisonner et à comparer les résultats des stations en aval des points de rejets à ceux de la station de référence située en amont des points de rejets de la ville.

Si la difficulté de l'approche biologique réside dans la taxonomie des macroinvertébrés, l'approche physico-chimique présente le désavantage d'être coûteuse et non intégrateur comparativement aux macroinvertébrés qui intègrent l'altération. Dans ce cas de figure, l'utilisation des macroinvertébrés pour le suivi régulier de la qualité des eaux du fleuve Niger s'avère pertinente. Pour simplifier le travail taxonomique important qui s'avère être le principal facteur limitant l'utilisation de cette approche, nous préconisons un choix ciblé d'un groupe taxonomique assez diversifié et répondant aux altérations du milieu. La diversité et la répartition sur l'ensemble des stations de prélèvements de la famille des Chironomidae nous a suscité un intérêt pour leur utilisation dans l'étude de la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey. Bien qu'elle reste encore très peu connue, la faune

chironomienne du fleuve Niger à Niamey répond de manière satisfaisante et beaucoup mieux, dans cette étude, que l'ensemble des macroinvertébrés à l'altération de la qualité des eaux du fleuve due aux déversements des eaux usées. La comparaison des techniques d'échantillonnage montre que le plan formé par les deux premières composantes explique plus d'inertie dans la distribution des assemblages de macroinvertébrés avec les échantillons récoltés au filet troubleau. La jacinthe d'eau est inappropriée pour l'échantillonnage des chironomides.

Références bibliographiques

- AKPAN E. R. and OFFEM J. O., 1993.** Seasonal variation in water quality of the Cross River, Nigeria. *Revue Hydrobiologie Tropicale*, 26: 95-103.
- ALLAN J. D., 1995.** Stream ecology : structure and functioning of running waters In : MOKAYA and *al.*, 2004. Influence of anthropogenic activities on water quality of a tropical stream ecosystem. *African Journal of Ecology*, 42: 281-288.
- AMIR S. et HAFIDI M., 2001.** Valorisation de boues de stations d'épuration des eaux usées par un bioprocédé aérobie "compostage". *Annales de Chimie-Science des Matériaux*, 26 : 409-414.
- ANONYME, 2000.** Etudes de base sur les établissements dangereux, incommodes et insalubres. Rapport final. Bureau d'étude CEH-SIDI, Niamey, 31 p.
- ANONYME, 2001.** Etude sur l'amélioration de l'assainissement de la ville de Niamey en République du Niger. Rapport final provisoire. Vol.II : Rapport principal. Tokyo Engineering Consultants CO., LTD and Yachiyo Engineering CO., LTD., 497 p.
- AWA S. A., 2002.** Analyses bactériologiques des effluents des stations d'épuration de l'hôpital national de Lamordé et de la faculté des sciences de Niamey. Mémoire, Ecole Nationale de la Santé Publique, Niamey, 47 p.
- DEATH R. G., 1995.** Spatial patterns in benthic invertebrate community structure: products of habitat stability or are they habitat specific. *Freshwater Biology*, 33 : 455-467.
- FLECKER A.S. and FLEIFAREK B., 1994.** Disturbance and temporal variability of invertebrate assemblages in two Andean streams. *Freshwater Biology*, 31: 131-142.
- FURTADO A. L. S., PETRUCIO M. M. and ESTEVES F. A., 1997.** C, N, P and pheopigments in the sediment of a brazilian coastal lagoon, Macaé, Rio de Janeiro. *Revue of Brazilian Biology*, 57: 127-134.
- GARBA L., 1995.** Perspective des eaux usées au Sahel : Gestion et traitement. Thèse de Doctorat, Univ. Montréal (France), 233 p.
- JOHNES P., MOSS B. and PHILIPS G., 1996.** The determination of total nitrogen and total phosphorus concentrations in freshwaters from land use, stock headage and population data: testing of a model

for use in conservation and water quality management. *Freshwater Biology*, 36: 451-473.

LAOUALI M. S., IDDER T., SEIDL M., KOULIDIATI J. et LEGMA J. B., 2005. Epuration des eaux usées urbaines par lagunages à microphytes et à macrophytes en région tropicale : la station expérimentale de Niamey-Niger. *Tribune de l'eau*, 636 : 23-28.

NDARUGA A. M., NDIRITU G. G., GICHUKI N. N. and WAMICHA W. N., 2004. Impact of water quality on macroinvertebrate assemblages along a tropical stream in Kenya. *African Journal of Ecology*, 42: 208-216.

NDIFON G. T. and UKOLI M. A., 1989. Ecology of freshwater snails in south-western Nigeria. I: Distribution and habitat preferences. *Hydrobiologia*, 171: 231-253.

PETRUCIO M. M. and FURTADO A. L. S., 1998. Concentrações de nitrogênio e fósforo da coluna d'água da lagoa Imboassica. In: CALLISTO M., MORENO P., GONÇALVES J. F.Jr., LEAL J. J. F. and ESTEVES F. A., 2002. Diversity and biomass of Chironomidae (diptera) larvae in an impacted coastal lagoon in Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 62: 77-84.

SEIDL M. et MOUCHEL J. M., 2003. Valorisation des eaux usées par lagunage dans les pays en voie de développement : bilan et enseignements pour une intégration socio-économique viable. Centre d'Enseignement et de Recherche Eau Ville Environnement (CEREVE), 44 p.

VLOK W. and ENGELBRECHT J. S., 2000. Some aspects of the ecology of the groot Letaba river in the Northern Province, South Africa. *African Journal of Aquatic Science*, 25 : 76-83.

Conclusions générales et perspectives

Les écosystèmes aquatiques revêtent un intérêt social, culturel et économique. Toutes ces valeurs expliquent les différentes pressions auxquelles ils sont soumis. Ces pressions sont souvent à la base de nombreux déséquilibres écologiques. Le cas de la ville de Niamey, installée le long du fleuve Niger est un exemple qui nous a permis d'illustrer l'impact des activités humaines (domestiques et industrielles) sur ce cours d'eau. Il s'agit d'un premier pas dans l'étude de la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey qui prend en compte les caractéristiques physico-chimiques et la faune de macroinvertébrés. L'utilisation des méthodes statistiques simples et multivariées nous a permis d'approcher une telle problématique et s'est avérée bien appropriée.

Il ressort principalement de cette étude que le déversement dans le fleuve Niger des eaux usées de la ville de Niamey présente un impact très faible sur l'ensemble de l'écosystème grâce aux débits du fleuve qui sont plus importants que ceux des rejets.

Il faut néanmoins retenir que :

- aucun point de rejets ne répond entièrement au projet de normes nationales de rejets ;
- les rejets sont directement évacués sur les berges, zones d'activités humaines (baignade, lessives, petit maraîchage...) ;
- le réseau d'évacuation des rejets liquides est peu fonctionnel, il retient une grande partie de la pollution en ville.

Dans le cadre de cette étude, nous avons prospecté l'impact de ces rejets sur la qualité des eaux du fleuve Niger le long des berges. Nous pouvons ainsi conclure que :

- les eaux du fleuve Niger à Niamey à l'aval immédiat de certains points de rejets subissent une altération liée à la matière organique (DCO, O₂) et aux nutriments (PO₄³⁻, P_{tot}, NH₄⁺) détectable le long des berges. Cette altération disparaît juste à la sortie de la ville grâce à la capacité de dilution du fleuve ;
- les macroinvertébrés reflètent bien la qualité physico-chimie des eaux du fleuve Niger à Niamey ;
- les Chironomidae pourraient se substituer aux macroinvertébrés dans le suivi de la qualité des eaux du fleuve Niger à Niamey ;

- les méthodes d'échantillonnage de macroinvertébrés utilisées sont complémentaires dans l'étude de la biodiversité ;
- en comparant les techniques d'échantillonnage au filet troubleau et aux substrats artificiels il ressort que le plan formé par les deux premières composantes explique plus d'inertie dans la distribution des structures de communautés de macroinvertébrés avec les échantillons récoltés au filet troubleau ;

Aux termes de cette étude, nous recommandons :

- un suivi régulier de la qualité des rejets et des eaux du fleuve Niger (surtout le long des berges) sur une gamme plus étendue de descripteurs (matières organiques, nutriments, bactériologie, micropolluants,...) ;
- une mise en place d'un système de décantation/traitement des rejets et d'un réseau d'évacuation fermé débouchant loin dans le fleuve afin de permettre une dilution beaucoup plus rapide et éviter le contact des rejets avec la population riveraine ;
- l'élaboration et la mise en application des normes sectorielles de rejets ;
- un inventaire de la biodiversité des macroinvertébrés du fleuve Niger (plus particulièrement les Chironomidae) et l'établissement d'une faune de référence pouvant servir au suivi de la qualité des eaux de ce fleuve ;
- l'élaboration d'une clé pratique et simplifiée de détermination des taxons ;
- l'amélioration des conditions d'échantillonnage de façon à mettre en place une méthode beaucoup plus standardisée applicable à différents régimes du fleuve Niger.

TABLE DES MATIERES

RESUME

SUMMARY

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1. GENERALITES SUR LE BASSIN DU NIGER ... 5

1.1. CARACTERISTIQUES DU BASSIN DU NIGER.....	5
1.1.1. <i>Délimitation du bassin</i>	5
1.1.2. <i>Climat</i>	5
1.1.3. <i>Ressources en eaux</i>	6
1.1.3.1. Eaux de surface	8
1.1.3.2. Hydrogéologie	10
1.1.3.2.1. Aquifères du socle	10
1.1.3.2.2. Aquifères des formations sédimentaires.....	10
1.1.3.2.3. Aquifères des formations alluvionnaires	12
1.2. INTERETS SOCIO-ECONOMIQUES	12
1.2.1. <i>Agriculture</i>	13
1.2.2. <i>Elevage</i>	13
1.2.3. <i>Pêche</i>	14
1.2.4. <i>Energie</i>	14
1.3. PROBLEMATIQUE DE LA GESTION DU BASSIN DU NIGER.....	14
1.3.1. <i>Projet de normes nigériennes de rejets</i>	14
1.3.2. <i>Cadre institutionnel</i>	15
1.3.3. <i>Principales menaces</i>	15
1.3.3.1. Phénomènes naturels	16
1.3.3.2. Phénomènes anthropiques	16
1.3.3.2.1. Sources ponctuelles	16
1.3.3.2.2. Sources diffuses.....	18
1.3.3.3. Impact sur les ressources en eaux.....	26
1.3.3.3.1. Eaux de surface	26
1.3.3.3.2. Eaux souterraines	26
1.4. DISCUSSION.....	27
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	30

CHAPITRE 2 : INVENTAIRE DES SOURCES DE POLLUTION DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY 37

2.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	37
2.1.1. <i>Climatologie</i>	37
2.1.1.1. Pluviométrie	38
2.1.1.2. Température.....	38

2.1.1.3. Humidité relative de l'air	39
2.1.1.4. Evapotranspiration (ETP).....	39
2.1.1.5. Vitesse du vent	39
2.1.2. <i>Ressources en eaux</i>	40
2.1.2.1. Eaux superficielles	41
2.1.2.2. Eaux souterraines	43
a. Aquifères discontinus du socle	43
b. Aquifères à porosité interstitielle	43
2.2. TPOLOGIE DES SOURCES DE POLLUTION	44
2.2.1. <i>Sources agricoles</i>	44
2.2.2. <i>Sources industrielles</i>	45
2.2.2.1. Abattoir (ABA).....	45
2.2.2.2. BRANIGER (BRA).....	46
2.2.2.3. ENITEX (ENI)	47
2.2.2.4. OLANI (OLA).....	47
2.2.2.5. ONPPC	47
2.2.2.6. Tannerie (TAN).....	48
2.2.3. <i>Sources hospitalières</i>	48
2.2.3.1. Hôpital National de Niamey (HNN)	48
2.2.3.2. Hôpital National de Lamordé (HNL)	49
2.2.4. <i>Sources domestiques</i>	49
2.3. CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES REJETS	51
2.3.1. <i>Méthodologie</i>	51
2.3.1.1. Choix des paramètres	51
2.3.1.2. Echantillonnage des rejets.....	52
2.3.1.3. Méthodes d'analyse.....	52
2.3.2. <i>Résultats</i>	54
2.3.2.1. Paramètres physico-chimiques	54
2.3.2.2. Paramètres de pollution organique	59
2.3.2.3. Paramètres azotés et phosphatés.....	62
2.3.2.4. Classification des rejets en fonction des paramètres écologiques mesurés.....	69
2.3.3. <i>Discussion</i>	72
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	75
CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY	79
3.1. METHODOLOGIE	79
3.1.1. <i>Choix et localisation des stations de prélèvement</i>	79
3.1.2. <i>Prise et conservation des échantillons d'eau</i>	80
3.1.3. <i>Choix et analyse des paramètres physico-chimiques</i>	80
3.1.4. <i>Traitement des données</i>	81

3.2. RESULTATS.....	82
3.2.1. <i>Analyse de variance</i>	82
3.2.1.1. Minéralisation.....	83
3.2.1.1.1. Conductivité	83
3.2.1.1.2. pH	83
3.2.1.1.3. Diagrammes ioniques	85
3.2.1.2. Température.....	85
3.2.1.3. Matières en suspension (MES).....	85
3.2.1.4. Demande chimique en oxygène	88
3.2.1.5. Oxygène dissous.....	89
3.2.1.6. Saturation en oxygène	90
3.2.1.7. Nutriments	91
3.2.1.7.1. Ammonium.....	91
3.2.1.7.2. Nitrates	92
3.2.1.7.3. Nitrites	93
3.2.1.7.4. Orthophosphates.....	94
3.2.1.7.5. Phosphore total	95
3.2.2. <i>Etat de la pollution des eaux du fleuve Niger à Niamey ..</i>	96
3.2.2.1. Indice et classe de qualité des eaux	97
3.2.2.2. Aptitude biologique.....	99
3.2.3. <i>Analyses en composantes principales</i>	101
3.3. DISCUSSION	110
3.3.1. <i>Analyse de variance</i>	110
3.3.2. <i>Etat de pollution des eaux du fleuve Niger à Niamey</i>	117
3.3.3. <i>Analyse en composantes principales</i>	119
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	121
CHAPITRE 4 : ETUDE DES PEUPELEMENTS DE	
MACROINVERTEBRES.....	125
4.1. METHODOLOGIE	125
4.1.1. <i>Substrats artificiels</i>	126
4.1.1.1. Procédure et fréquence d'échantillonnage	126
4.1.1.2. Collecte des substrats	126
4.1.1.3. Difficultés rencontrées dans l'application de cette	
méthode	126
4.1.2. <i>Filet troubleau</i>	127
4.1.3. <i>Jacinthe d'eau</i>	127
4.1.3.1. Récolte des macroinvertébrés.....	128
4.1.4. <i>Tri et conservation des échantillons</i>	128
4.1.5. <i>Identification des taxons</i>	129
4.1.6. <i>Traitement des données</i>	130
4.2. RESULTATS.....	132

4.2.1. Liste des taxons récoltés.....	132
4.2.2. Structure des communautés.....	132
4.2.2.1. Richesse taxonomique.....	132
4.2.2.2. Abondance relative des taxons.....	134
4.2.2.3. Etude de la diversité des macroinvertébrés.....	140
4.2.2.4. Répartition taxonomique des macroinvertébrés au sein des stations de prélèvements.....	144
4.2.2.5. Classification des stations selon la distance de Bray- Curtis.....	151
4.2.3. Analyse de la diversité chironomidienne.....	153
4.2.3.1. Diagnoses des espèces de larves de Chironomidae.....	153
4.2.3.1.1. Préparation et identification des taxons.....	153
4.2.3.1.2. Caractéristiques générales des larves (dénominations en Français d'après Bertrand, 1954).....	154
4.2.3.1.3. Caractéristiques des espèces.....	155
4.2.3.2. Structure des communautés.....	168
4.2.3.2.1. Richesse taxonomique.....	168
4.2.3.2.2. Indices de diversité et d'équitabilité de Shannon- Weaver.....	169
4.2.3.2.3. Distribution des chironomides le long des stations de prélèvement.....	173
4.3. DISCUSSION.....	177
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	183
CHAPITRE 5 : DISTRIBUTION DES ASSEMBLAGES DE MACROINVERTEBRES EN RELATION AVEC LES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX.....	189
5.1. METHODE STATISTIQUE.....	190
5.2. RESULTATS.....	190
5.2.1. Relation entre les macroinvertébrés et les facteurs environnementaux.....	191
5.2.1.1. Méthode d'échantillonnage au filet troubleau.....	191
5.2.1.2. Méthode d'échantillonnage aux substrats artificiels.....	194
5.2.2. Relation entre les Chironomidae et les facteurs environnementaux.....	197
5.2.2.1. Méthode d'échantillonnage au filet troubleau.....	197
5.2.2.2. Méthode d'échantillonnage aux substrats artificiels.....	200
5.3. DISCUSSION.....	202
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	208
CHAPITRE 6 : SYNTHESE ET DISCUSSION GENERALES.....	211
6.1. SYNTHESE.....	211

6.1.1. Inventaire des sources de pollution.....	211
6.1.2. Approche physico-chimique	212
6.1.2.1. Analyse de variance.....	212
6.1.2.2. SEQ-Eau	213
6.1.2.3. Analyse en composantes principales.....	214
6.1.3. Approche biologique	215
6.1.4. Approche abiotique et biotique	216
6.2. DISCUSSION	217
6.2.1. Analyse critique des approches utilisées.....	217
6.2.2. Pertinence des deux approches dans la mise en évidence de l'impact des rejets.....	218
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	220
CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES	223

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.1: LOCALISATION DU BASSIN DU NIGER	6
FIGURE 1.2: Potentiel hydrique en milliards de m ³ à différentes stations du fleuve Niger de 1970 à 2001	9
FIGURE 1.3 : Faciès chimique des eaux du fleuve Niger de l'amont à l'aval de la ville de Niamey	11
FIGURE 1.4 : Site d'exploitation artisanal de l'or dans la partie nigérienne (Komabangou) du bassin du Niger.....	25
FIGURE 2.1: LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE A L'OUEST DU NIGER.....	38
FIGURE 2.2: DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE LA VILLE DE NIAMEY DE 1995 A 2005.....	39
FIGURE 2.3: EVAPOTRANSPIRATION (1995 A 2004) MENSUELLE ENREGISTREES A NIAMEY AEROPORT	40
FIGURE 2.4: VITESSES DU VENT RELEVÉES A NIAMEY AEROPORT DE 1995 A 2004.....	40
FIGURE 2.5: VARIATIONS ANNUELLES DES DEBITS MOYENS DU FLEUVE NIGER A NIAMEY DE 1980 A 2005.....	42
FIGURE 2.6: VARIATIONS MENSUELLES DES DEBITS MOYENS DU FLEUVE NIGER A NIAMEY DE 1980 A 2005.....	42
FIGURE 2.7: CARTE DE LOCALISATION DES POINTS DE REJETS ET DES STATIONS DE PRELEVEMENT SUR LE FLEUVE NIGER A NIAMEY.....	53
FIGURE 2.8 : DEBITS DES POINTS DE REJETS ET DE LA STATION DE REFERENCE SUR LE FLEUVE NIGER.....	56
FIGURE 2.9: TEMPERATURES DES DIFFERENTS REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY	57
FIGURE 2.10: pH DES DIFFERENTS REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY.....	57
FIGURE 2.11: CONDUCTIVITE DES DIFFERENTS REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY.....	58
FIGURE 2.12: MATIERES EN SUSPENSION DES DIFFERENTS REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY.....	58
FIGURE 2.13 : CHARGE MOYENNE JOURNALIERE EN MATIERES EN SUSPENSION DES POINTS DE REJETS ET DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY.....	59
FIGURE 2.14 : DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE DES DIFFERENTS REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY	60
FIGURE 2.15 : CHARGE MOYENNE JOURNALIERE EN DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE DES POINTS DE REJETS ET DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY.....	61

FIGURE 2.16 : CONCENTRATION EN OXYGENE DISSOUS DES DIFFERENTS REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY.....	61
FIGURE 2.17 : CONCENTRATION EN NITRATES DES DIFFERENTS REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY.....	64
FIGURE 2.18 : CHARGE MOYENNE JOURNALIERE EN NITRATES DES POINTS DE REJETS ET DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY ...	64
FIGURE 2.19 : CONCENTRATION EN NITRITES DES DIFFERENTS REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY.....	65
FIGURE 2.20 : CHARGE MOYENNE JOURNALIERE EN NITRITES DES POINTS DE REJETS ET DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY ...	65
FIGURE 2.21 : CONCENTRATION EN AMMONIUM DES DIFFERENTS REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY.....	66
FIGURE 2.22 : CHARGE MOYENNE JOURNALIERE EN AMMONIUM DES POINTS DE REJETS ET DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY ...	66
FIGURE 2.23: CONCENTRATION EN ORTHOPHOSPHATES DES DIFFERENTS REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY	67
FIGURE 2.24: CHARGE MOYENNE JOURNALIERE EN ORTHOPHOSPHATES DES POINTS DE REJETS ET DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY	67
FIGURE 2.25: CONCENTRATION EN PHOSPHORE TOTAL DES DIFFERENTS REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY.....	68
FIGURE 2.26: CHARGE MOYENNE JOURNALIERE EN PHOSPHORE TOTAL DES POINTS DE REJETS ET DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY.....	68
FIGURE 2.27 : CORRELATION DES FACTEURS ECOLOGIQUES AUX AXES 1 ET 2.....	70
FIGURE 2.28: DISTRIBUTION DES REJETS DANS LE PLAN DES AXES 1 ET 2.....	71
FIGURE 2.29: DISTRIBUTION DES TYPES DE REJETS DANS LE PLAN DES AXES 1 ET 2	71
FIGURE 3.1 : VARIATION DE LA CONDUCTIVITE (EN $\mu\text{S cm}^{-1}$) A 25°C DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY A DIFFERENTES STATIONS DE PRELEVEMENT ET SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDROLOGIQUES DE MARS 2004 A JANVIER 2006	84
FIGURE 3.2 : VARIATION DU pH DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY A DIFFERENTES STATIONS DE PRELEVEMENT ET SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDROLOGIQUES DE MARS 2004 A JANVIER 2006	84
FIGURE 3.3 : DIAGRAMMES IONIQUES EN SAISON DES PLUIES DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS DE 2003 A 2004.....	86

FIGURE 3.4 : DIAGRAMMES IONIQUES EN ETIAGE DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS DE 2003 A 2004.....	86
FIGURE 3.5 : DIAGRAMMES IONIQUES EN PERIODE DE CRUE DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS DE 2003 A 2004.....	87
FIGURE 3.6 : VARIATION DE LA TEMPERATURE (EN °C) DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY A DIFFERENTES STATIONS DE PRELEVEMENT ET SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDROLOGIQUES DE MARS 2004 A JANVIER 2006.....	87
FIGURE 3.7 : VARIATION DES MATIERES EN SUSPENSION (EN MG L ⁻¹) DES EAUX DU FLEUVE NIGER A NIAMEY A DIFFERENTES STATIONS DE PRELEVEMENT ET SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDROLOGIQUES DE JANVIER 2005 A JANVIER 2006	88
FIGURE 3.8 : DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE (EN MG L ⁻¹) DES EAUX DU FLEUVE NIGER DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS ET SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDROLOGIQUES DE MARS 2004 A JANVIER 2006	89
FIGURE 3.9 : CONCENTRATION EN OXYGENE DISSOUS DES EAUX DU FLEUVE NIGER DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS ET SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDROLOGIQUES DE MARS 2004 A JANVIER 2006.....	90
FIGURE 3.10 : SATURATION EN OXYGENE DES EAUX DU FLEUVE NIGER DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS ET SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDROLOGIQUES DE JANVIER 2005 A JANVIER 2006.....	91
FIGURE 3.11 : CONCENTRATION EN AMMONIUM (EN MG L ⁻¹ N-NH ₄) DES EAUX DU FLEUVE NIGER DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS ET SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDROLOGIQUES DE MARS 2004 A JANVIER 2006.....	92
FIGURE 3.12 : CONCENTRATION EN NITRATES EN DES EAUX DU FLEUVE NIGER DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS ET SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDROLOGIQUES DE MARS 2004 A JANVIER 2006.....	93
FIGURE 3.13: CONCENTRATION EN NITRITES EN DES EAUX DU FLEUVE NIGER DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS ET SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDROLOGIQUES DE MARS 2004 A JANVIER 2006.....	94
FIGURE 3.14 : CONCENTRATION EN ORTHOPHOSPHATES DES EAUX DU FLEUVE NIGER DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS ET SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDROLOGIQUES DE MARS 2004 A JANVIER 2006.....	95

FIGURE 3.15 : CONCENTRATION EN PHOSPHORE TOTAL EN DES EAUX DU FLEUVE NIGER DE L'AMONT A L'AVANT DES POINTS DE REJETS ET SOUS DIFFERENTS REGIMES HYDROLOGIQUES DE MARS 2004 A JANVIER 2006.....	96
FIGURE 3.16 : INDICES ET CLASSES DE QUALITE.....	96
FIGURE 3.17 : INDICES ET CLASSES D'APTITUDE BIOLOGIQUE.....	100
FIGURE 3.18: CORRELATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DU FLEUVE NIGER SUR LES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACP POUR LES TROIS PERIODES D'ECHANTILLONNAGE (ETIAGE, SAISON DES PLUIES, CRUE).....	103
FIGURE 3.19 : DISTRIBUTION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DES EAUX DU FLEUVE NIGER SUR LES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACP POUR LES TROIS PERIODES D'ECHANTILLONNAGE (ETIAGE, SAISON DES PLUIES, CRUE).....	103
FIGURE 3.20 : DISTRIBUTION DES PERIODES D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX DU FLEUVE NIGER (ETIAGE = E, SAISON DES PLUIES = P, CRUE = H) SUR LES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACP.....	104
FIGURE 3.21 : DISTRIBUTION DES MOIS D'ECHANTILLONNAGE DES EAUX DU FLEUVE NIGER SUR LES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACP	104
FIGURE 3.22 : CORRELATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DU FLEUVE NIGER SUR LES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACP EN ETIAGE	105
FIGURE 3.23: DISTRIBUTION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DES EAUX DU FLEUVE NIGER SUR LES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACP EN ETIAGE.....	106
FIGURE 3.24 : CORRELATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DU FLEUVE NIGER SUR LES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACP EN SAISON DES PLUIES.....	108
FIGURE 3.25 : DISTRIBUTION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DES EAUX DU FLEUVE NIGER SUR LES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACP EN SAISON DES PLUIES.....	108
FIGURE 3.26 : CORRELATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DU FLEUVE NIGER SUR LES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACP EN PERIODE DE CRUE.....	109
FIGURE 3.27 : DISTRIBUTION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DES EAUX DU FLEUVE NIGER SUR LES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACP EN PERIODE DE CRUE.....	110
FIGURE 3.28 : COMPARAISON DES CONCENTRATIONS EN AMMONIUM, NITRATES ET NITRITES DES STATIONS DE PRELEVEMENT DES EAUX DU FLEUVE NIGER	115
FIGURE 4.1 : PLANTE DE JACINTHE D'EAU.....	127

FIGURE 4.2: COURBES DE SATURATION D'ECHANTILLONNAGE ETABLIES A PARTIR DES PRELEVEMENTS SUR LA JACINTHE D'EAU A LA STATION DE REFERENCE (A) ET A LA STATION EN AVAL LOINTAIN DES REJETS (B).....	129
FIGURE 4.3: VARIATION DE LA RICHESSE TAXONOMIQUE DES MACROINVERTEBRES DU FLEUVE NIGER DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY SUR L'ENSEMBLE DES PRELEVEMENTS.....	134
FIGURE 4.4: CLASSIFICATION DES STATIONS ET DES TECHNIQUES D'ECHANTILLONNAGE DES MACROINVERTEBRES A PARTIR DE L'INDICE DE SIMILARITE DE JACCARD.....	136
FIGURE 4.5: DISTRIBUTION DES ABONDANCES TAXONOMIQUES TOTALE ET RELATIVE DANS LES PRELEVEMENTS EFFECTUES SUR LE SYSTEME RACINAIRE DE LA JACINTHE D'EAU EN FEVRIER 2005 (A) ET 2006 (B).....	137
FIGURE 4.6: DISTRIBUTION DES ABONDANCES TAXONOMIQUES TOTALE ET RELATIVE DANS LES PRELEVEMENTS EFFECTUES AU FILET TROUBLEAU EN MAI 2005 (A), JUIN 2005 (B) ET MARS 2006(C).....	138
FIGURE 4.7 : DISTRIBUTION DES ABONDANCES TAXONOMIQUES TOTALE ET RELATIVE DANS LES PRELEVEMENTS EFFECTUES SUR LES SUBSTRATS ARTIFICIELS EN MAI-JUIN 2004 (A) ET AVRIL-MAI 2005(B).....	139
FIGURE 4.8 : VARIATION DE LA DIVERSITE TAXONOMIQUE DU FLEUVE NIGER PAR TECHNIQUE D'ECHANTILLONNAGE ET PAR PRELEVEMENT DE MACROINVERTEBRES EFFECTUE DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY.....	143
FIGURE 4.9: VARIATION DE L'INDICE D'EQUITABILITE DE SHANNON PAR TECHNIQUE D'ECHANTILLONNAGE DE MACROINVERTEBRES ET PAR PRELEVEMENT EFFECTUE DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY DANS LE FLEUVE NIGER.....	144
FIGURE 4.10 : ORDINATION DES TAXONS (A) ET DES PRELEVEMENTS (B) DE MACROINVERTEBRES EFFECTUES SUR LES SUBSTRATS ARTIFICIELS DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY DANS LE FLEUVE NIGER DANS LE PLAN FORME PAR LES AXES 1 ET 2 DE L'AFC.....	147
FIGURE 4.11: ORDINATION DES TAXONS (A) ET DES PRELEVEMENTS (B) DE MACROINVERTEBRES EFFECTUES AU FILET TROUBLEAU DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY	

DANS LE FLEUVE NIGER DANS LE PLAN FORME PAR LES AXES 1 ET 2 DE L'AFC.....	148
FIGURE 4.12 : ORDINATION DES TAXONS (A) ET DES PRELEVEMENTS (B) DE MACROINVERTEBRES EFFECTUES DANS LE SYSTEME RACINAIRE DE LA JACINTHE D'EAU DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY DANS LE FLEUVE NIGER DANS LE PLAN FORME PAR LES AXES 1 ET 2 DE L'AFC.....	149
FIGURE 4.13 : CLASSIFICATION DES STATIONS EN FONCTION DE LA DISTANCE DE BRAY-CURTIS APPLIQUEE SUR LE LOGARITHME A BASE 10 DES ABONDANCES TAXONOMIQUES DES MACROINVERTEBRES RECOLTES SUR LES SUBSTRATS ARTIFICIELS (A), AU FILET TROUBLEAU (B) ET DANS LE SYSTEME RACINAIRE DE LA JACINTHE D'EAU (C).....	152
FIGURE 4.14 : CARACTERISTIQUES GENERALES D'UNE LARVE DE CHIRONOMIDAE D'APRES WIEDERHOLM (1983) MODIFIEE ...	155
FIGURE 4.15 : <i>ABLABESMYIA</i> SP.....	156
FIGURE 4.16 : Cf. <i>PROCLADIUS</i> SP.....	156
FIGURE 4.17 : <i>CLINOTANYPUS</i> SP.....	157
FIGURE 4.18 : <i>MICROPELOPIINAE</i> SP.....	158
FIGURE 4.19 : <i>ORTHOCLADIINAE</i> SP.....	158
FIGURE 4.20 : <i>CHIRONOMINI</i> SP. 1.....	159
FIGURE 4.21 : <i>CHIRONOMINI</i> SP. 2.....	159
FIGURE 4.22 : <i>CHIRONOMUS</i> GR. <i>PLUMOSUS</i>	160
FIGURE 4.23 : <i>CRYPTOCHIRONOMINI</i> SP.....	161
FIGURE 4.24: <i>CRYPTOCHIRONOMUS</i> SP.1.....	161
FIGURE 4.25 : <i>CRYPTOCHIRONOMUS</i> SP.2.....	162
FIGURE 4.26 : <i>DICROTENDIPES</i> SP.....	163
FIGURE 4.27 : <i>GLYPTOTENDIPES</i> SP.....	163
FIGURE 4.28 : <i>MICROCHIRONOMUS</i> SP.....	164
FIGURE 4.29 : <i>NILODOSIS</i> SP.....	165
FIGURE 4.30 : <i>PARACHIRONOMUS</i> SP.....	165
FIGURE 4.31 : <i>POLYPEDILUM</i> SPP 1.....	166
FIGURE 4.32: <i>POLYPEDILUM</i> SPP. 2.....	166
FIGURE 4.33: <i>XENOCHIRONOMUS</i> SP.....	167
FIGURE 4.34: <i>TANYTARSINI</i> SPP.....	168
FIGURE 4.35: VARIATION DE LA RICHESSE TAXONOMIQUE DES CHIRONOMIDES DU FLEUVE NIGER DE L'AMONT A L'AVAL DES POINTS DE REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY SUR L'ENSEMBLE DES PRELEVEMENTS ET PAR TECHNIQUE D'ECHANTILLONNAGE.....	169

FIGURE 4.36 : VARIATION DE LA DIVERSITE DES CHIRONOMIDES DU FLEUVE NIGER DE L'AMONT A L'AVANT DES POINTS DE REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY PAR PRELEVEMENT ET PAR TECHNIQUE D'ECHANTILLONNAGE.....	171
FIGURE 4.37: VARIATION DE L'INDICE D'EQUITABILITE DE SHANNON PAR TECHNIQUE D'ECHANTILLONNAGE DE CHIRONOMIDES ET PAR PRELEVEMENT EFFECTUE DE L'AMONT A L'AVANT DES POINTS DE REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY DANS LE FLEUVE NIGER.....	172
FIGURE 4.38 : ORDINATION DES TAXONS (A) ET DES PRELEVEMENTS (B) DE CHIRONOMIDES EFFECTUES SUR LES SUBSTRATS ARTIFICIELS DE L'AMONT A L'AVANT DES POINTS DE REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY DANS LE FLEUVE NIGER DANS LE PLAN FORME PAR LES AXES 1 ET 2 DE L'AFC (A = MAI-JUIN 2004, B = AVRIL-MAI 2005).....	174
FIGURE 4.39: ORDINATION DES TAXONS (A) ET DES PRELEVEMENTS (B) DE CHIRONOMIDES EFFECTUES AU FILET TROUBLEAU DE L'AMONT A L'AVANT DES POINTS DE REJETS DE LA VILLE DE NIAMEY DANS LE FLEUVE NIGER DANS LE PLAN FORME PAR LES AXES 1 ET 2 DE L'AFC (A = MAI 2005, B = JUIN 2005 ET C = MARS 2006).....	176
FIGURE 5.1 : ORDINATION DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX (A), DES TAXONS (B) ET DES PRELEVEMENTS (C) DANS LE PLAN DES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACC EN MAI 2005 (A) ET JUIN 2005 (B), LES FACTEURS ACTIFS SONT EN GRAS ET RELIES A L'ORIGINE DES AXES.....	194
FIGURE 5.2: ORDINATION DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX (A), DES TAXONS (B) ET DES PRELEVEMENTS (C) DANS LE PLAN DES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACC EN MAI-JUIN 2004 (A) ET AVRIL-MAI 2005 (B), LES FACTEURS ACTIFS SONT EN GRAS ET RELIES A L'ORIGINE DES AXES.....	196
FIGURE 5.3: ORDINATION DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX (A), DES TAXONS (B) ET DES PRELEVEMENTS (C) DANS LE PLAN DES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACC EN MAI 2005 (A) ET JUIN 2005 (B), LES FACTEURS ACTIFS SONT EN GRAS ET RELIES A L'ORIGINE DES AXES.....	199
FIGURE 5.4 : ORDINATION DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX (A), DES TAXONS (B) ET DES PRELEVEMENTS (C) DANS LE PLAN DES DEUX PREMIERS AXES DE L'ACC EN MAI-JUIN 2004 (A) ET AVRIL-MAI 2005 (B), LES FACTEURS ACTIFS SONT EN GRAS ET RELIES A L'ORIGINE DES AXES.....	202

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1.1: ETENDUE DU BASSIN ET SA POPULATION	7
TABLEAU 1.2: NATURE ET COMPOSITION DES REJETS INDUSTRIELS.....	19
TABLEAU 1.3: ESTIMATION DU FLUX DE POLLUTION DOMESTIQUE SUR L'ENSEMBLE DU BASSIN DU NIGER EN 2002.....	22
TABLEAU 1.4: VALEURS THEORIQUES DE LA CHARGE POLLUANTE ENGENDREE PAR LE BETAIL EN UCP.....	24
TABLEAU 4.1: LISTE TAXONOMIQUE.....	134
TABLEAU 4.2: CORRELATION DE L'AXE 1 DE L'AFC AVEC LES INDICES D'APTITUDE BIOLOGIQUE PAR TECHNIQUE DE PRELEVEMENT (R = COEFFICIENT DE CORRELATION DE PEARSON, P = PROBABILITE, AZOT = MATIERES AZOTEES, PHOS = MATIERES PHOSPHOREES, MOOX = MATIERES ORGANIQUES ET OXYDABLES, A = CRUE + ETIAGE + SAISON DES PLUIES).....	150
TABLEAU 4.3: CORRELATION DE L'AXE 1 DE L'AFC AVEC LES INDICES D'APTITUDE BIOLOGIQUE PAR TECHNIQUE DE PRELEVEMENT (R = COEFFICIENT DE CORRELATION DE PEARSON, P = PROBABILITE, AZOT = MATIERES AZOTEES, PHOS = MATIERES PHOSPHOREES, MOOX = MATIERES ORGANIQUES ET OXYDABLES, A = CRUE + ETIAGE + SAISON DES PLUIES).....	177
TABLEAU 5.1 : CORRELATION DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX AUX AXES 1 ET 2 DE L'ACC.....	191
TABLEAU 5.2: CORRELATION DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX AUX AXES 1 ET 2 DE L'ACC.....	197
TABLEAU 5.3: CORRELATION DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX AUX AXES 1 ET 2 DE L'ACC.....	200

LISTE DES ANNEXES

Annexe 2.1 : Caractéristiques physico-chimiques des rejets de la ville de Niamey

Annexe 2.2: Projet de normes nigériennes de rejet de déchets liquides

Annexe 2.3 : Type de transformations appliquées aux paramètres physico-chimiques des rejets

Annexe 3.1 : Caractéristiques physiques des stations de prélèvement sur le fleuve Niger à Niamey

Annexe 3.2 : Physico-chimiques des eaux du fleuve Niger à Niamey en étiage (e), en saison des pluies (P) et en hautes eaux (H)

Annexe 3.3 : Type de transformation de données appliquées à la physico-chimie du fleuve

Annexe 4.1 : Abondance des taxons de macroinvertébrés par type de prélèvement dans les stations du fleuve Niger à proximité de Niamey

Annexe 5.1 : Variance cumulée des macroinvertébrés sur les quatre premiers axes de l'ACC (technique du filet troubleau).

Annexe 5.2 : Variance cumulée des macroinvertébrés sur les quatre premiers axes de l'ACC (technique des substrats artificiels).

Annexe 5.3 : Variance cumulée des Chironomidae sur les quatre premiers axes de l'ACC (technique du filet troubleau).

Annexe 5.4 : Variance cumulée des Chironomidae sur les quatre premiers axes de l'ACC (technique des substrats artificiels).

Annexe 2.1 : Caractéristiques physico-chimiques des rejets de la ville de Niamey

	RHNN	RMES	RGH	ROLA	RABA	RENI	RBRA	RTAN	RGOU	RHNL
T°C	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 2	N = 3
Min	28,70	24,90	26,90	29,30	27,20	25,90	27,00	25,10	24,50	29,24
Max	31,00	28,20	30,00	30,70	31,00	31,65	31,25	30,40	27,90	31,00
Moyenne	29,78	26,80	28,54	30,05	28,51	29,24	28,64	27,81	26,20	29,88
Ecartype	0,31	0,50	0,45	0,22	0,61	1,05	0,62	0,71	3,61	0,97
K à 25°C (µS/cm)	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 2	N = 3
Min	586,33	622,00	450,00	711,00	945,80	985,00	1070,00	24500,00	1601,00	540,00
Max	657,00	1540,00	1037,00	1441,00	1891,00	2480,00	1618,00	72000,00	2490,00	582,00
Moyenne	632,56	901,77	706,11	985,77	1187,22	1795,50	1342,12	36963,67	2045,50	562,33
Ecartype	21,13	140,87	103,94	100,48	157,10	276,84	109,70	7782,41	942,93	21,13
pH	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 2	N = 3
Min	6,64	6,90	6,75	3,55	6,50	9,32	6,60	8,52	7,51	6,70
Max	6,99	7,55	7,37	6,13	7,10	11,33	7,41	12,50	7,62	7,25
Moyenne	6,81	7,23	7,03	4,91	6,84	10,34	6,96	11,15	7,57	7,02
Ecartype	0,05	0,11	0,09	0,40	0,08	0,30	0,13	0,60	0,12	0,29
DCO (mg/l)	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 2	N = 3
Min	140,00	104,33	126,00	5000,00	1840,00	220,00	1090,00	6544,00	112,00	283,00
Max	756,67	1493,33	716,67	9736,67	8116,67	366,00	1319,33	28200,00	222,67	483,00
Moyenne	521,92	793,25	529,33	7810,83	5878,33	293,17	1178,58	19629,83	167,33	355,33
Ecartype	92,41	245,99	85,50	746,33	943,72	20,94	33,75	3299,04	117,38	110,89
NH₄⁺ (mg/l NH₄)	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 2	N = 3
Min	48,00	27,48	31,73	17,00	29,03	2,51	27,54	95,46	48,00	36,77
Max	68,68	75,00	64,00	46,76	96,00	7,10	34,29	353,64	69,00	43,36
Moyenne	58,23	50,72	44,10	30,89	76,19	4,99	31,53	251,09	58,50	41,10
Ecartype	3,87	6,03	5,71	3,80	10,44	0,72	1,04	44,88	22,27	3,75
O₂d (mg/l)	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 2	N = 3
Min	0,66	2,46	1,66	2,10	0,70	1,20	0,75	0,10	0,14	2,95
Max	2,21	4,10	3,54	3,10	5,60	3,10	2,51	1,70	0,74	3,31
Moyenne	1,45	3,37	2,49	2,67	2,83	2,44	1,69	0,91	0,44	3,13
Ecartype	0,29	0,33	0,39	0,16	0,76	0,27	0,28	0,25	0,64	0,18

Annexe 2.1 : suite

	RHNN	RMES	RGH	ROLA	RABA	RENI	RBRA	RTAN	RGOU	RHNL
NO₃⁻ (mg/l N- NO₃)	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 2	N = 3
Min	0,90	0,50	0,60	1,28	17,61	1,40	2,00	86,00	1,20	6,00
Max	1,70	1,77	2,16	12,00	26,00	6,00	8,00	190,00	4,00	7,10
Moyenne	1,30	1,03	1,19	7,50	21,17	3,87	5,30	134,03	2,60	6,37
Ecartype	0,12	0,18	0,21	2,07	1,36	0,60	1,20	20,31	2,97	0,64
NO₂⁻ (mg/l N-NO₂)	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 1	
Min	2,00	0,50	22,00	0,00	415,10	5,02	10,00	33,90		
Max	4,00	1,00	44,00	0,50	830,00	10,00	20,00	66,00		
Moyenne	3,00	0,77	33,67	0,28	618,37	7,34	15,33	46,63	5,00	
Ecartype	2,00	0,50	22,00	0,34	414,90	4,98	10,00	32,10		
PO₄³⁻ (mg/l PO₄)	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 2	N = 3
Min	6,80	3,70	3,80	14,45	18,00	1,10	0,90	4,20	11,00	4,00
Max	10,10	18,10	12,50	61,50	21,90	2,24	5,00	34,00	11,50	5,14
Moyenne	8,05	9,29	6,44	28,43	20,18	1,74	2,39	17,22	11,25	4,43
Ecartype	0,52	1,96	1,34	7,54	0,57	0,18	0,59	4,20	0,53	0,62
Ptot (mg/l P)	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 6	N = 2	N = 3
Min	3,84	2,87	2,70	5,93	6,84	0,98	2,20	4,59	4,67	2,35
Max	16,30	29,70	27,30	24,43	27,00	3,29	8,10	20,85	24,10	3,85
Moyenne	9,21	14,13	12,60	14,93	15,23	1,88	5,47	10,25	14,39	3,03
Ecartype	2,04	5,10	4,14	3,65	3,73	0,38	1,07	2,67	20,61	0,76
Cl⁻ (mg/l)	N = 5	N = 5	N = 5	N = 5	N = 5	N = 5	N = 5	N = 5	N = 2	N = 3
Min	34,00	5,00	8,00	19,00	75,00	32,00	32,00	3070,00	139,00	70,00
Max	56,00	370,00	42,24	68,00	104,00	70,00	140,00	5700,00	186,00	77,10
Moyenne	40,96	211,50	32,31	32,71	85,25	43,06	60,81	5035,75	162,50	73,03
Ecartype	5,30	72,61	8,55	12,38	6,69	9,47	27,77	689,09	49,85	3,66
MES (mg/l)	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 1	N = 1	
Min	225	35	240	450	740	290	223			
Max	2000	61	2560	2070	1730	445	280			
Moyenne	1111,67	48,00	1399,67	1258,00	1233,33	367,33	251,33	12830	1060	
Ecartype	890	13	1161	816	500	77,5	28,5			
Turbidité (FTU)	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 3	N = 1	N = 1	
Min	183	59	220	400	399	190	207			
Max	1770	66	2060	1460	1630	305	210			
Moyenne	976,5	62,5	1140	930	1014,5	247,5	208,5	11065	1330	
Ecartype	793,5	3,5	920	530	615,5	57,5	1,5			
Débit (m³/j) N = 1	323	660	2645	20	220	1350	630		4858	24

Annexe 2.2: Projet de normes nigériennes de rejet de déchets liquides

2.2.1. Rejets ne débouchant pas à une station d'épuration

Paramètres	Normes
pH	6-9,5
Température	$\leq 50^{\circ}\text{C}$
Matières en suspension (MES)	$\leq 1 \text{ g/l}$
Demande chimique en oxygène (DCO)	$\leq 100 \text{ mg/l}$
Azote total	$\leq 10 \text{ mg/l}$
Ammonium (NH_4)	$\leq 15 \text{ mg/l}$

2.2.2. Rejets débouchant à une station d'épuration

Paramètres	Normes
pH	6-9,5
Température	$\leq 50^{\circ}\text{C}$
Matières en suspension (MES)	$\leq 100 \text{ mg/l}$
Demande biologique en oxygène (DBO_5)	$\leq 200 \text{ mg/l}$
Azote total	$\leq 60 \text{ mg/l}$
Demande chimique en oxygène (DCO)	$\leq 100 \text{ mg/l}$

2.2.3. A la sortie d'une station d'épuration

Paramètres	Normes
pH	6-9,5
Température	$\leq 50^{\circ}\text{C}$
Matières en suspension (MES)	$\leq 50 \text{ mg/l}$
Demande biologique en oxygène (DBO_5)	$\leq 100 \text{ mg/l}$
Azote total	$\leq 30 \text{ mg/l}$
Ammonium (NH_4)	40 mg/l

Annexe 2.3 : Type de transformations appliquées aux paramètres physico-chimiques des rejets

Paramètres	Transformation
pH	$\text{LOG}(X+1)$
DCO	$\text{LOG}(X+1)$
NH ₄	$\text{LOG}(X+1)$
PO ₄	$\text{LOG}(X+1)$
P	$\text{LOG}(X+1)$
Cl	$\text{LOG}^{1/4}(X)$
NO ₃	$\text{LOG}^{1/2}(X+1)$
K	$\text{LOG}^{1/10}(X*0,01)$
O ₂	Non
T	Non

Annexe 3.1 : Caractéristiques physiques des stations de prélèvement sur le fleuve Niger à Niamey

3.1.1. Description des stations

3.1.1.1. Stations de référence (TON 1 et TON 2)

Elles sont situées en amont de tous les points de rejets de la communauté urbaine de Niamey. La première (TON 1) est à 185 m d'altitude entre 13°33'44"26 de latitude Nord et 2°00'33"39 de longitude Est et la seconde (TON 2) se trouve à 191 m d'altitude entre 13°33'42"37 de latitude Nord et 2°00'35"21 de longitude Est. Elles sont surplombées en rive gauche par le village de Tondibia et en rive droite par des formations dunaires.

Le lit du fleuve est à texture sableuse parsemée de nombreux blocs granitiques de couleur brunâtre. Sur ces blocs de granites qui affleurent à l'étiage adhèrent des lamellibranches du genre *Etheria* et d'autres groupes d'insectes comme les trichoptères et les éphéméroptères.

Les herbacées présentes sont *Polygonum senegalense* (MEISN), *Sorghum aethiopicum* (HACKEL), *Echinochloa stagnina* (RETZ), *Eichornia crassipes* et *Cyperus Spp* (FLATSEDES).

De nombreuses activités humaines ont été relevées à savoir la vaisselle, la pêche, la baignade, l'abreuvement du bétail, le maraîchage, le transport en pirogue d'une rive à l'autre et des carrières d'argile.

3.1.1.2. Station 2 (HNN)

Elle se situe à 194 m d'altitude entre 13°30'29"19 de latitude Nord et 2°00'33"39 de longitude Est. Le substrat a une texture

argileuse. Les activités menées à cette station sont la pêche et le jardinage. L'espèce herbacée dominante est *Polygonum senegalense* à l'intérieur de laquelle se trouvent quelques pieds de jacinthe d'eau. C'est à cette station que débouchent les rejets de l'hôpital national de Niamey (HNN).

3.1.1.3. Station 3 (UAM)

Elle se situe en rive droite sous l'unique pont de la ville de Niamey à 187 m altitude entre 13°30'04"67 de latitude Nord et 2°06'08"72 de longitude Est. Sa texture est sableuse. Elle représente un lieu de décharge des marchandises (courge, maïs, patate douce) qui arrivent en pirogue en provenance de Mallanville (Bénin). La seule herbacée présente sur les berges est *Cyperus Spp.* Cette station reçoit les rejets provenant de l'université (UAM).

3.1.1.4. Station 4 (GH)

Elle est à 192 m d'altitude entre 13°29'59"97 de latitude Nord et 2°06'54"47 de longitude Est. Sa texture est argileuse. Les activités menées sur la station sont la vaisselle, la baignade et la pêche. A l'étiage, le courant du fleuve est quasiment nul du côté de la station ; il est dévié vers la rive droite. L'accumulation des eaux usées à cette période acquiert à l'eau une couleur verdâtre. Les herbacées présente sont *Polygonum senegalense* et *Eichornia crassipes*. Cette station reçoit les rejets domestiques provenant de Gountiyéna et du grand hôtel (GH).

3.1.1.5. Station 5 (TAN)

Elle est au voisinage de la tannerie (TAN) à 175 m d'altitude entre 13°29'46"86 de latitude Nord et 2°06'54"62 de longitude Est. La texture argileuse est recouverte d'importants dépôts de résidus d'*Acacia nilotica* (LINN) utilisée pour le tannage des peaux.

Les activités relevées sont la pêche, la baignade et le rinçage des peaux.

Les herbacées présentes sont *Polygonum senegalense* et *Eichornia crassipes*.

3.1.1.6. Station 6 (MES)

Elle se situe en aval d'un collecteur d'eaux usées domestique qui débouche à la Mess (MES). Elle se trouve à 189 m d'altitude entre 13°29'25"30 de latitude Nord et 2°07'07"47 de longitude Est. Elle a une texture argileuse.

La seule activité notifiée est la pêche.

Les herbacées présentes sont *Polygonum senegalense* et *Eichornia crassipes*.

3.1.1.7. Station 8 (ABA)

Elle est localisée en aval du point de rejet de l'abattoir à 195 m d'altitude entre 13°29'10"12 de latitude Nord et 2°07'22"13 de longitude Est. La texture argileuse est recouverte d'un important dépôt de contenus stomacaux.

La pêche est également plus intense à cette station pendant les basses eaux.

3.1.1.8. Station 9 (BRA)

Cette station est en aval du point de rejet de la brasserie du Niger à 178 m d'altitude entre 13°28'53"61 de latitude Nord et 2°07'38"85 de longitude Est. Sa texture est argilo-sableuse

Les activités à cette station sont le maraîchage et la baignade.

Les herbacées recensées sont *Polygonum senegalense* et *Eichornia crassipes*.

3.1.1.9. Station 10 (ENI)

Elle est implantée en aval du dernier point de rejet de la ville (ENITEX) et se situe entre 13°28'37"68 de latitude Nord et 2°07'46"90 de longitude Est et à 179 m d'altitude.

Les activités humaines sont la pêche et le maraîchage. Sa texture est argileuse.

Les herbacées présentes sont *Polygonum senegalense*, *Sorghum aethiopicum*, *Echinochloa stagnina*, *Eichornia crassipes* et *Cyperus sp.*

3.1.1.10. Station 11 (SA 1)

C'est la première station située en aval de tous les rejets entre 13°28'22"01 de latitude Nord et 2°07'51"61 de longitude Est. Elle est à 175 m d'altitude. La texture du substrat est argilo-sableuse mélangée à des petites pierres.

Les activités relevées sont l'abreuvement du bétail, la pêche, la vaisselle, la lessive, la baignade et la riziculture pluviale.

Les herbacées recensées sont *Nymphae lotus* (GROEN), *Eichornia crassipes* et *Cyperus sp.*

3.1.1.11. Station 12 (SA 2)

Elle est la plus éloignée des points de rejet. Elle est à 189 m d'altitude entre 13°28'05"43 de latitude Nord et 2°07'55"49 de longitude Est. La texture du substrat est argilo-sableuse mélangée à des petites pierres.

Les activités relevées sont l'abreuvement du bétail, la pêche, la vaisselle et la baignade.

Les herbacées sont composées de *Eichornia crassipes* et *Cyperus sp.*

3.1.2. Distance entre les stations

Stations	Distance entre stations (m)
Tondibia 1-Tondibia 2	132
Tondibia 2-HNN	11.902
HNN-UAM	766
UAM-Grand hôtel	1.025
Grand hôtel-Tannerie	544
Tannerie-Messe	767
Messe-OLANI	535
Abattoir-BRANIGER	714
BRANIGER-ENITEX	533
ENITEX-Saga 1	511
Saga 1-Saga 2	523
Tondibia 1-Saga 2	16.920

Annexe 3.2 : Physico-chimiques des eaux du fleuve Niger à Niamey en étiage (e), en saison des pluies (P) et en hautes eaux (H)

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond (µS cm ⁻¹)	pH	DCO (mg l ⁻¹)	NH ₄ (mg l ⁻¹)	NO ₃ (mg l ⁻¹)	NO ₂ (mg l ⁻¹)	PO ₄ (mg l ⁻¹)	P _{tot} (mg l ⁻¹)	O ₂ (mg l ⁻¹)
TON1	e	06/03/2004	19,7	55	7,2	21	0,0	0,38	0,01	0,0	0,0	7,3
TON1	e	15/03/2004	20,9	58	6,7	30	0,0	0,44	0,01	0,1	0,1	9,9
TON1	e	24/03/2004	24,1	61	7,2	34	0,0	0,44	0,01	0,0	0,1	8,6
TON1	e	05/04/2004	26,1	62	7,5	21	0,0	0,53	0,01	0,1	0,2	7,1
TON1	e	12/04/2004	32	64	8,0	22	0,0	0,40	0,01	0,2	0,2	7,5
TON1	e	26/04/2004	29	63	7,7	21	0,0	0,46	0,01	0,2	0,2	7,3
TON1	e	04/03/2005	25,00	60	7,5	5	0,2	2,20	0,00	0,1	0,0	7,5
TON1	e	17/03/2005	26,80	59	7,4	8	0,2	2,20	0,00	0,1	0,1	7,1
TON1	e	29/03/2005	28,50	61	7,4	6	0,2	2,64	0,00	0,1	0,1	6,9
TON1	e	04/04/2005	29,00	67	7,4	5	0,2	2,64	0,00	0,2	0,1	6,8
TON1	e	14/04/2005	29,40	66	7,5	5	0,1	2,20	0,00	0,2	0,1	7,2
TON1	e	25/04/2005	29,70	65	7,5	6	0,1	2,20	0,00	0,2	0,1	7,6
TON1	e	02/05/2005	28,30	70	7,1	12	0,0	2,20	0,01	0,2	0,2	8,0
TON1	e	12/05/2005	28,40	74	6,7	12	0,1	2,20	0,00	0,3	0,2	6,6
TON1	e	23/05/2005	29,10	75	7,1	11	0,0	2,20	0,01	0,2	0,2	6,6
TON1	e	10/03/2006	22,35	57	7,4	13	0,1	1,29	0,01	0,1	0,0	7,4
TON2	e	06/03/2004	19,7	55	7,2	31	0,0	0,47	0,01	0,0	0,1	7,3
TON2	e	15/03/2004	21,1	61	6,9	30	0,0	0,44	0,01	0,0	0,1	9,7
TON2	e	24/03/2004	19	59	7,5	27	0,0	0,52	0,01	0,1	0,0	8,5
TON2	e	05/04/2004	26,1	62	7,6	21	0,0	0,62	0,01	0,1	0,2	6,4
TON2	e	12/04/2004	32,4	63	7,7	22	0,0	0,50	0,01	0,1	0,2	7,5
TON2	e	26/04/2004	29,25	63	7,6	21	0,0	0,37	0,01	0,1	0,2	6,9
TON2	e	04/03/2005	24,80	57	7,5	6	0,2	2,20	0,00	0,1	0,2	7,6
TON2	e	17/03/2005	26,50	59	7,4	8	0,2	2,64	0,00	0,1	0,1	7,2
TON2	e	29/03/2005	28,40	60	7,4	5	0,1	2,20	0,00	0,1	0,1	6,8
TON2	e	04/04/2005	29,20	69	7,5	9	0,2	2,20	0,00	0,1	0,1	6,8
TON2	e	14/04/2005	29,50	67	7,5	8	0,2	2,20	0,00	0,1	0,1	7,1
TON2	e	25/04/2005	29,70	64	7,5	6	0,2	2,20	0,00	0,1	0,1	7,3
TON2	e	02/05/2005	28,30	69	7,0	12	0,0	2,20	0,01	0,2	0,1	7,6
TON2	e	12/05/2005	28,50	75	6,7	11	0,0	2,20	0,01	0,3	0,3	6,6
TON2	e	23/05/2005	29,00	75	6,8	13	0,0	2,20	0,00	0,2	0,2	6,8
HNN	e	04/03/2004	26,20	56	7,5	11	0,2	1,76	0,00	0,2	0,2	7,4
HNN	e	12/03/2004	27,80	58	7,4	9	0,3	2,20	0,00	0,1	0,1	7,5
HNN	e	23/03/2004	27,00	60	7,5	12	0,2	2,20	0,00	0,2	0,1	7,2
HNN	e	06/04/2004	28,00	60	7,6	9	0,3	2,20	0,00	0,2	0,1	7,2
HNN	e	16/04/2004	30,00	69	7,3	10	0,6	2,20	0,00	0,2	0,1	6,9

Annexe 3.2 : suite

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond (µS cm ⁻¹)	pH	DCO (mg l ⁻¹)	NH ₄ (mg l ⁻¹)	NO ₃ (mg l ⁻¹)	NO ₂ (mg l ⁻¹)	PO ₄ (mg l ⁻¹)	P _{tot} (mg l ⁻¹)	O ₂ (mg l ⁻¹)
HNN	e	23/04/2004	31,60	79	7,0	10	0,9	0,22	0,00	0,2	0,2	6,6
HNN	e	03/03/2005	26,20	56	7,5	11	0,2	1,76	0,00	0,2	0,2	7,4
HNN	e	16/03/2005	27,80	58	7,4	9	0,3	2,20	0,00	0,1	0,1	7,5
HNN	e	28/03/2005	27,00	60	7,5	12	0,2	2,20	0,00	0,2	0,1	7,2
HNN	e	07/04/2005	28,00	60	7,6	9	0,3	2,20	0,00	0,2	0,1	7,2
HNN	e	19/04/2005	30,00	69	7,3	10	0,6	2,20	0,00	0,2	0,1	6,9
HNN	e	28/04/2005	31,60	79	7,0	10	0,9	2,20	0,00	0,2	0,2	6,6
HNN	e	05/05/2005	29,60	80	6,5	21	1,3	2,64	0,00	0,2	0,4	6,5
HNN	e	17/05/2005	31,40	69	7,1	23	0,2	2,64	0,01	0,2	0,5	7,7
HNN	e	26/05/2005	30,00	75	7,5	24	1,8	2,64	0,00	0,2	0,7	6,3
UAM	e	05/03/2004	25,4	68	7,4	21	0,0	0,42	0,01	0,1	0,1	8,4
UAM	e	16/03/2004	26,1	76	7,7	19	0,0	0,40	0,01	0,0	0,1	7,4
UAM	e	26/03/2004	24,7	60	7,1	22	0,0	0,57	0,01	0,0	0,1	7,5
UAM	e	06/04/2004	27,9	62	7,9	49	0,1	0,12	0,01	0,1	0,3	7,5
UAM	e	13/04/2004	28,65	63	7,7	34	0,1	0,10	0,01	0,1	0,3	6,5
UAM	e	20/04/2004	29,4	64	7,5	42	0,2	0,09	0,01	0,1	0,2	6,3
UAM	e	03/03/2005	26,30	56	7,5	10	0,1	2,20	0,00	0,2	0,1	6,1
UAM	e	16/03/2005	27,90	60	7,4	12	0,2	2,20	0,00	0,2	0,2	7,5
UAM	e	28/03/2005	27,00	60	7,4	11	0,0	2,64	0,00	0,1	0,1	7,4
UAM	e	07/04/2005	27,00	60	7,5	11	0,1	2,64	0,00	0,2	0,1	7,2
UAM	e	19/04/2005	29,00	63	7,3	9	0,1	2,64	0,00	0,2	0,1	7,1
UAM	e	28/04/2005	31,00	66	7,1	10	0,1	2,64	0,00	0,1	0,1	6,9
UAM	e	05/05/2005	29,30	68	6,8	20	0,1	2,64	0,00	0,1	0,1	6,8
UAM	e	17/05/2005	31,00	68	7,1	25	0,1	2,64	0,00	0,2	0,1	7,1
UAM	e	26/05/2005	30,15	68	6,9	28	0,1	2,64	0,00	0,2	0,1	7,8
GH	e	04/03/2004	25	158	7,2	38	1,1	0,48	0,02	0,2	3,1	7,5
GH	e	12/03/2004	21,8	150	7,1	34	1,1	0,43	0,01	0,1	2,8	9,4
GH	e	26/03/2004	27,4	166	7,3	41	1,5	0,37	0,01	0,2	3,0	9,0
GH	e	02/04/2004	29,1	123	7,0	19	1,4	0,13	0,01	0,1	0,2	8,0
GH	e	16/04/2004	30,2	105	7,2	11	1,8	0,12	0,01	0,1	0,5	7,4
GH	e	23/04/2004	29,8	141	7,3	16	1,6	0,13	0,01	0,3	0,5	7,2
GH	e	02/03/2005	26,60	72	7,1	28	1,3	2,20	0,00	0,2	0,2	7,7
GH	e	15/03/2005	28,80	82	7,7	24	1,0	2,20	0,02	0,1	0,3	6,8
GH	e	25/03/2005	28,00	90	7,8	31	1,7	2,64	0,01	0,3	0,2	7,6
GH	e	06/04/2005	28,40	95	7,8	40	1,2	2,64	0,01	0,1	0,2	6,8
GH	e	18/04/2005	30,00	108	8,4	45	1,5	2,64	0,01	0,2	0,3	6,5
GH	e	27/04/2005	31,40	120	7,9	55	0,8	2,64	0,01	0,2	0,4	8,0
GH	e	04/05/2005	30,10	128	8,5	30	0,8	2,64	0,03	0,1	0,1	9,4
GH	e	16/05/2005	30,70	121	7,7	33	0,3	2,20	0,06	0,1	0,4	9,4

Annexe 3.2 : suite

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	DCO (mg l^{-1})	NH ₄ (mg l^{-1})	NO ₃ (mg l^{-1})	NO ₂ (mg l^{-1})	PO ₄ (mg l^{-1})	P _{tot} (mg l^{-1})	O ₂ (mg l^{-1})
GH	e	25/05/2005	29,80	130	7,7	37	0,5	3,08	0,02	0,1	0,4	8,2
GH	e	11Mars2006	25,80	115	7,2	33	6,2	1,34	0,01	0,6	1,6	8,0
TAN	e	04/03/2004	25,8	66	7,3	61	0,2	0,18	0,01	0,1	0,1	7,2
TAN	e	12/03/2004	21,8	64	7,3	67	0,2	0,13	0,01	0,1	0,1	7,4
TAN	e	26/03/2004	29,8	67	7,3	55	0,2	0,22	0,01	0,1	0,1	7,8
TAN	e	01/04/2004	29,2	76	7,5	4	0,8	0,35	0,01	0,1	0,3	6,7
TAN	e	15/04/2004	29,4	76	7,3	6	0,9	0,35	0,01	0,1	0,3	7,0
TAN	e	22/04/2004	25,5	75	7,4	8	0,6	0,35	0,01	0,0	0,3	7,6
TAN	e	02/03/2005	26,30	68	7,1	21	0,9	2,20	0,00	0,2	0,1	6,2
TAN	e	15/03/2005	28,00	65	7,6	27	0,5	2,64	0,00	0,1	0,2	7,5
TAN	e	25/03/2005	28,00	66	7,5	25	0,6	2,20	0,00	0,1	0,2	7,6
TAN	e	06/04/2005	28,00	67	7,5	27	0,4	2,20	0,00	0,1	0,2	7,5
TAN	e	18/04/2005	29,00	71	7,6	29	0,5	2,46	0,00	0,1	0,1	6,9
TAN	e	27/04/2005	30,70	76	7,7	30	0,5	2,64	0,01	0,2	0,1	6,2
TAN	e	04/05/2005	29,40	82	7,0	17	0,4	2,64	0,01	0,1	0,0	7,1
TAN	e	16/05/2005	30,60	78	7,4	15	0,4	2,64	0,01	0,1	0,2	7,5
TAN	e	25/05/2005	30,20	98	7,1	18	0,4	2,64	0,17	0,2	0,3	6,3
TAN	e	11/03/2006	26,05	67	7,2	41	0,5	1,19	0,00	0,1	0,1	7,2
MES	e	05/03/2004	21,3	71	6,8	23	0,6	0,56	0,01	0,1	0,5	5,7
MES	e	11/03/2004	21,1	70	7,0	33	0,4	0,53	0,01	0,1	0,7	5,2
MES	e	25/03/2004	24,1	68	7,1	26	0,5	0,62	0,01	0,1	0,8	5,4
MES	e	02/04/2004	26,4	76	7,3	18	0,6	0,09	0,01	0,1	0,2	5,1
MES	e	15/04/2004	29,3	76	7,5	15	0,9	0,13	0,01	0,1	0,2	6,0
MES	e	22/04/2004	27,3	67	7,5	16	0,2	0,04	0,01	0,1	0,2	6,2
MES	e	02/03/2005	26,10	63	7,2	13	0,6	1,76	0,00	0,1	0,1	6,6
MES	e	15/03/2005	28,10	61	7,5	10	0,4	2,20	0,00	0,1	0,1	7,1
MES	e	25/03/2005	27,00	59	7,6	16	0,6	2,20	0,01	0,2	0,1	7,3
MES	e	06/04/2005	28,30	65	7,6	9	0,8	2,20	0,01	0,2	0,1	7,0
MES	e	18/04/2005	30,00	68	7,6	10	0,6	2,46	0,00	0,2	0,1	6,8
MES	e	27/04/2005	31,60	71	7,6	12	0,5	2,64	0,00	0,1	0,1	6,5
MES	e	04/05/2005	29,50	72	7,2	35	0,3	2,20	0,00	0,1	0,0	6,8
MES	e	16/05/2005	31,20	70	7,3	37	0,2	2,20	0,00	0,1	0,2	7,6
MES	e	25/05/2005	30,10	80	7,0	34	0,5	2,64	0,01	0,1	0,2	7,0
MES	e	12/03/2006	23,70	67	7,0	18	0,6	1,16	0,00	0,1	0,3	6,1
ABA	e	05/03/2004	21,4	95	6,8	104	1,8	0,32	0,01	0,3	1,7	5,0
ABA	e	11/03/2004	21,7	86	6,7	137	1,7	0,22	0,01	0,2	2,2	5,8
ABA	e	25/03/2004	21	91	7,1	169	1,7	0,40	0,01	0,1	1,8	5,7
ABA	e	02/04/2004	27,4	80	6,5	147	17,8	0,13	0,01	0,2	1,3	6,7
ABA	e	15/04/2004	32	79	6,6	148	15,8	0,11	0,01	0,2	1,3	6,8

Annexe 3.2 : suite

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	DCO (mg l^{-1})	NH ₄ (mg l^{-1})	NO ₃ (mg l^{-1})	NO ₂ (mg l^{-1})	PO ₄ (mg l^{-1})	P _{tot} (mg l^{-1})	O ₂ (mg l^{-1})
ABA	e	22/04/2004	31,5	80	6,8	146	16,8	0,09	0,01	0,1	1,3	6,6
ABA	e	02/03/2005	26,40	58	7,3	34	0,4	2,20	0,00	0,2	0,1	6,6
ABA	e	15/03/2005	28,20	63	7,1	37	0,7	2,20	0,00	0,1	0,2	6,2
ABA	e	25/03/2005	27,50	62	7,7	39	0,3	2,20	0,00	0,1	0,2	7,0
ABA	e	06/04/2005	28,00	69	7,7	37	0,3	2,20	0,00	0,1	0,3	6,9
ABA	e	18/04/2005	30,00	69	7,2	36	0,2	2,20	0,00	0,1	0,2	6,1
ABA	e	27/04/2005	31,20	70	6,7	38	0,3	2,20	0,00	0,1	0,1	5,4
ABA	e	04/05/2005	28,60	75	6,9	47	0,6	2,20	0,01	0,2	0,1	6,3
ABA	e	16/05/2005	31,50	75	6,9	45	0,6	2,64	0,00	0,1	0,2	7,2
ABA	e	25/05/2005	30,40	89	6,4	49	0,5	2,64	0,00	0,2	0,3	6,9
ABA	e	12/03/2006	23,90	76	7,0	69	1,1	1,26	0,01	0,9	0,9	4,6
BRA	e	02/03/2004	25,5	102	5,8	87	0,3	0,13	0,01	0,1	0,4	5,3
BRA	e	11/03/2004	21	135	6,7	99	0,2	0,10	0,01	0,1	0,5	5,4
BRA	e	24/03/2004	25,1	167	6,7	111	0,3	0,09	0,01	0,1	0,5	5,9
BRA	e	01/04/2004	27,5	189	6,9	16	0,0	0,07	0,01	0,1	0,1	5,5
BRA	e	15/04/2004	31,4	179	7,0	12	0,0	0,09	0,01	0,2	0,2	5,1
BRA	e	22/04/2004	26	169	7,1	13	0,1	0,04	0,01	0,2	0,3	5,6
BRA	e	01/03/2005	26,40	159	7,2	100	0,3	2,20	0,01	0,2	0,1	7,2
BRA	e	14/03/2005	28,20	162	7,3	106	0,8	2,20	0,00	0,1	0,1	6,4
BRA	e	24/03/2005	27,60	162	7,9	113	0,5	2,20	0,00	0,2	0,1	7,0
BRA	e	05/04/2005	28,00	169	7,8	169	1,1	2,20	0,00	0,2	0,2	6,9
BRA	e	15/04/2005	30,00	161	7,2	178	1,3	2,20	0,00	0,2	0,4	6,1
BRA	e	26/04/2005	31,20	155	6,6	185	2,5	2,20	0,00	0,1	0,7	5,1
BRA	e	03/05/2005	28,30	180	7,0	186	0,9	2,20	0,01	0,1	0,5	5,7
BRA	e	13/05/2005	31,20	169	6,8	100	1,0	2,64	0,00	0,1	0,3	6,3
BRA	e	24/05/2005	30,00	170	6,4	115	1,0	2,64	0,01	0,2	0,4	5,3
BRA	e	13/03/2006	25,95	180	6,5	94	0,3	1,17	0,01	0,1	0,2	5,2
ENI	e	02/03/2004	25,5	180	9,3	65	0,2	0,40	0,01	0,3	0,4	5,4
ENI	e	10/03/2004	20,6	200	9,3	70	0,2	0,57	0,01	0,2	0,5	7,0
ENI	e	24/03/2004	23	190	9,3	60	0,2	0,42	0,01	0,5	0,5	6,2
ENI	e	07/04/2004	29,2	226	9,1	44	0,7	0,04	0,01	0,2	0,5	4,2
ENI	e	14/04/2004	30,2	206	9,5	45	0,6	0,09	0,01	0,1	0,5	5,2
ENI	e	21/04/2004	29	216	9,3	44	0,7	0,04	0,01	0,1	0,4	5,3
ENI	e	01/03/2005	25,90	168	8,6	25	0,0	2,20	0,01	0,2	0,1	6,7
ENI	e	14/03/2005	28,00	214	9,1	20	0,0	1,32	0,00	0,1	0,3	4,9
ENI	e	24/03/2005	27,50	194	8,6	20	0,0	2,20	0,00	0,2	0,1	6,4
ENI	e	05/04/2005	28,00	196	9,0	12	0,1	2,20	0,00	0,1	0,2	6,3
ENI	e	15/04/2005	29,00	195	8,6	8	0,2	2,20	0,00	0,1	0,2	6,0
ENI	e	26/04/2005	30,80	195	8,0	7	0,3	2,20	0,00	0,1	0,1	5,7

Annexe 3.2 : suite

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	DCO (mg l^{-1})	NH ₄ (mg l^{-1})	NO ₃ (mg l^{-1})	NO ₂ (mg l^{-1})	PO ₄ (mg l^{-1})	P _{tot} (mg l^{-1})	O ₂ (mg l^{-1})
ENI	e	03/05/2005	28,10	124	8,7	40	0,4	2,20	0,01	0,1	0,1	7,8
ENI	e	13/05/2005	30,90	124	8,7	49	0,3	2,20	0,01	0,1	0,2	6,9
ENI	e	24/05/2005	30,00	132	8,1	39	0,3	2,64	0,01	0,2	0,3	5,8
ENI	e	13/03/2006	25,70	124	8,5	45	0,1	1,30	0,01	0,3	0,2	6,1
SA1	e	03/03/2004	24,8	64	7,0	28	0,0	0,40	0,01	0,1	0,2	6,5
SA1	e	10/03/2004	20,6	76	8,0	25	0,0	0,50	0,01	0,2	0,2	7,2
SA1	e	24/03/2004	22,9	68	6,6	30	0,0	0,22	0,01	0,1	0,1	6,8
SA1	e	07/04/2004	28,9	67	7,9	13	0,2	0,09	0,01	0,1	0,3	6,1
SA1	e	14/04/2004	30	72	7,6	11	0,2	0,09	0,01	0,0	0,3	6,2
SA1	e	21/04/2004	28,5	82	7,5	7	0,3	0,04	0,01	0,1	0,3	5,5
SA1	e	01/03/2005	26,20	57	7,3	8	0,3	1,76	0,00	0,1	0,1	7,1
SA1	e	14/03/2005	28,30	68	7,8	6	0,2	2,20	0,00	0,1	0,0	6,3
SA1	e	24/03/2005	27,80	63	7,5	10	0,3	2,20	0,00	0,1	0,0	6,8
SA1	e	05/04/2005	28,20	63	7,5	6	0,1	2,20	0,00	0,1	0,1	6,8
SA1	e	15/04/2005	29,40	68	7,5	10	0,1	2,20	0,00	0,1	0,1	6,4
SA1	e	26/04/2005	30,50	73	7,5	7	0,2	2,20	0,00	0,1	0,1	6,1
SA1	e	03/05/2005	28,20	88	7,6	30	0,3	2,64	0,01	0,0	0,1	8,0
SA1	e	13/05/2005	30,00	81	7,4	25	0,3	2,64	0,01	0,1	0,2	6,4
SA1	e	24/05/2005	29,40	87	7,5	36	0,5	2,64	0,01	0,1	0,2	5,6
SA1	e	13/03/2006	25,50	61	7,2	18	0,2	1,08	0,00	0,1	0,1	6,8
SA2	e	03/03/2004	24,7	71	6,0	49	0,0	0,30	0,01	0,1	0,5	6,5
SA2	e	10/03/2004	20,6	61	7,0	50	0,0	0,44	0,01	0,1	0,4	7,4
SA2	e	24/03/2004	24,5	66	6,3	47	0,0	0,26	0,01	0,0	0,3	7,0
SA2	e	07/04/2004	28,7	71	7,9	12	0,3	0,17	0,01	0,1	0,3	5,8
SA2	e	14/04/2004	29,8	67	7,5	19	0,2	0,13	0,01	0,1	0,3	5,8
SA2	e	21/04/2004	27,7	80	7,4	16	0,2	0,21	0,01	0,1	0,3	5,4
SA2	e	01/03/2005	26,30	57	7,3	9	0,3	2,20	0,00	0,1	0,1	7,3
SA2	e	14/03/2005	28,50	59	7,4	10	0,5	1,76	0,00	0,1	0,0	7,1
SA2	e	24/03/2005	27,80	62	7,3	7	0,3	2,20	0,00	0,1	0,1	7,1
SA2	e	05/04/2005	28,10	62	7,4	10	0,2	2,20	0,00	0,1	0,1	7,1
SA2	e	15/04/2005	29,40	66	7,4	8	0,1	2,20	0,01	0,1	0,1	6,5
SA2	e	26/04/2005	30,60	70	7,5	6	0,2	2,20	0,01	0,1	0,1	5,9
SA2	e	03/05/2005	28,40	73	7,2	15	0,3	2,64	0,00	0,1	0,1	8,2
SA2	e	13/05/2005	30,00	78	7,3	28	0,3	2,20	0,00	0,1	0,2	6,2
SA2	e	24/05/2005	29,20	75	7,6	38	0,2	2,20	0,00	0,1	0,2	6,2
TON1	P	03/04/2004	30,8	71	6,9	17	2,7	0,40	0,01	0,1	1,0	6,5
TON1	P	17/05/2004	28,8	73	7,3	17	2,6	0,48	0,01	0,1	1,0	7,0
TON1	P	24/05/2004	28,1	63	7,1	16	2,6	0,50	0,01	0,1	1,1	7,7
TON1	P	05/06/2004	27,3	76	7,5	12	1,0	0,40	0,01	0,0	0,0	7,6

Annexe 3.2 : suite

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	DCO (mg l ⁻¹)	NH ₄ (mg l ⁻¹)	NO ₃ (mg l ⁻¹)	NO ₂ (mg l ⁻¹)	PO ₄ (mg l ⁻¹)	P _{tot} (mg l ⁻¹)	O ₂ (mg l ⁻¹)
TON1	P	15/06/2004	28,2	78	7,5	14	1,2	0,50	0,01	0,0	0,1	7,9
TON1	P	25/06/2004	26,9	80	7,2	16	1,6	0,40	0,01	0,0	0,0	7,1
TON1	P	06/06/2005	28,00	74	6,7	22	0,1	2,20	0,01	0,8	0,3	6,6
TON1	P	16/06/2005	28,10	73	6,7	19	0,1	3,52	0,01	0,9	0,6	7,1
TON1	P	27/06/2005	28,80	49	6,4	23	0,1	4,84	0,01	0,9	0,7	6,4
TON1	P	04/07/2005	27,50	47	6,4	21	0,7	0,44	0,01	0,7	1,6	6,2
TON1	P	14/07/2005	29,10	54	6,7	20	0,6	0,44	0,01	0,6	2,8	6,6
TON1	P	25/07/2005	28,15	48	6,4	23	0,4	0,44	0,01	0,6	1,2	6,3
TON2	P	03/04/2004	30,6	68	7,2	20	2,7	0,40	0,01	0,1	1,2	6,0
TON2	P	17/05/2004	28,8	72	7,4	19	2,6	0,48	0,01	0,0	1,2	7,2
TON2	P	24/05/2004	28,1	70	7,1	18	2,6	0,54	0,01	0,1	1,0	6,8
TON2	P	05/06/2004	27,1	81	7,5	17	1,1	0,61	0,01	0,0	0,0	7,3
TON2	P	15/06/2004	28,2	80	7,5	15	1,0	0,53	0,01	0,0	0,1	7,5
TON2	P	25/06/2004	26,9	78	7,3	18	1,6	0,45	0,01	0,0	0,0	6,8
TON2	P	06/06/2005	28,20	75	6,8	23	0,1	2,20	0,00	0,8	0,4	6,5
TON2	P	16/06/2005	28,10	73	6,9	22	0,1	3,52	0,01	0,8	0,6	7,1
TON2	P	27/06/2005	28,70	49	6,4	21	0,2	4,84	0,01	0,9	0,7	6,3
TON2	P	04/07/2005	27,50	47	6,3	24	0,6	0,62	0,01	0,1	1,6	6,2
TON2	P	14/07/2005	29,10	53	6,7	22	0,1	0,62	0,00	0,0	1,9	6,5
TON2	P	25/07/2005	28,10	48	6,3	21	0,4	0,44	0,01	0,5	1,2	6,2
HNN	P	04/05/2004	30,9	86	7,1	33	2,7	0,81	0,01	0,1	0,6	6,0
HNN	P	11/05/2004	31,4	74	7,2	38	2,4	0,70	0,01	0,0	0,4	6,2
HNN	P	21/05/2004	31,2	80	7,0	27	2,1	0,92	0,01	0,0	0,3	7,0
HNN	P	06/06/2004	28,9	77	7,3	30	1,5	0,72	0,01	0,0	0,5	7,2
HNN	P	16/06/2004	29,7	81	7,3	33	1,5	0,70	0,01	0,0	0,4	6,8
HNN	P	26/06/2004	27,7	80	7,5	27	1,5	0,62	0,01	0,0	0,4	6,9
HNN	P	09/06/2005	28,30	48	6,4	25	1,0	0,62	0,00	0,3	2,5	6,1
HNN	P	21/06/2005	28,10	75	7,5	24	1,8	2,64	0,00	0,9	0,7	6,3
HNN	P	30/06/2005	28,60	73	6,5	27	1,4	6,16	0,02	0,1	4,8	6,5
HNN	P	07/07/2005	28,30	48	6,4	28	1,0	0,62	0,00	0,3	2,5	6,1
HNN	P	19/07/2005	29,80	55	6,7	27	0,2	0,44	0,02	0,1	1,5	6,5
HNN	P	28/07/2005	28,45	60	6,5	27	1,2	0,62	0,01	0,2	3,7	6,1
UAM	P	04/05/2004	30,8	77	7,1	23	2,5	0,79	0,01	0,2	0,7	7,0
UAM	P	11/05/2004	31	76	7,4	32	2,2	0,73	0,01	0,1	0,6	7,3
UAM	P	21/05/2004	30,9	77	7,0	28	2,0	0,66	0,01	0,2	0,5	7,2
UAM	P	06/06/2004	28,5	74	7,2	40	1,1	0,62	0,01	0,0	0,2	7,7
UAM	P	16/06/2004	29,1	78	7,6	34	1,4	0,53	0,01	0,0	0,3	7,2
UAM	P	26/06/2004	27,1	84	7,5	37	1,6	0,66	0,01	0,0	0,2	7,5

Annexe 3.2 : suite

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond (µS cm ⁻¹)	pH	DCO (mg l ⁻¹)	NH ₄ (mg l ⁻¹)	NO ₃ (mg l ⁻¹)	NO ₂ (mg l ⁻¹)	PO ₄ (mg l ⁻¹)	P _{tot} (mg l ⁻¹)	O ₂ (mg l ⁻¹)
UAM	P	09/06/2005	28,80	78	7,3	40	1,5	6,16	0,02	0,0	0,1	7,7
UAM	P	21/06/2005	29,10	80	7,5	34	1,8	5,28	0,01	0,0	0,1	7,0
UAM	P	30/06/2005	27,60	84	7,5	37	2,1	6,60	0,01	0,0	0,1	7,5
UAM	P	07/07/2005	28,20	41	6,5	35	1,3	0,44	0,05	0,5	2,2	6,0
UAM	P	19/07/2005	29,80	44	6,7	43	0,7	0,44	0,02	0,0	0,8	6,6
UAM	P	28/07/2005	29,50	50	6,6	30	1,1	0,44	0,04	0,3	1,6	6,4
GH	P	07/05/2004	31	264	6,9	49	5,4	0,48	0,02	0,9	3,1	0,9
GH	P	14/05/2004	30,6	230	7,2	42	2,1	0,43	0,01	0,7	2,8	1,0
GH	P	25/05/2004	29,3	247	7,0	46	3,7	0,37	0,01	0,5	3,0	1,1
GH	P	07/06/2004	29,8	221	7,3	59	2,9	0,50	0,01	0,0	0,3	7,1
GH	P	17/06/2004	30,6	223	7,4	62	2,7	0,53	0,01	0,0	0,4	7,4
GH	P	27/06/2004	28,1	217	7,8	56	3,5	0,47	0,01	0,0	0,5	6,9
GH	P	08/06/2005	28,30	182	6,8	37	0,7	3,08	0,02	0,2	0,8	3,0
GH	P	20/06/2005	29,20	177	6,7	37	0,8	3,08	0,02	0,2	0,7	1,3
GH	P	29/06/2005	29,10	131	6,5	42	3,1	3,52	0,06	0,2	2,1	3,7
GH	P	06/07/2005	28,30	55	6,5	38	1,3	0,62	0,05	0,5	2,0	4,8
GH	P	18/07/2005	29,90	58	6,7	40	2,0	0,44	0,04	0,4	1,4	6,2
GH	P	27/07/2005	28,70	93	6,5	42	2,2	0,44	0,04	0,3	2,1	4,8
TAN	P	07/05/2004	30,4	104	6,9	57	2,3	1,54	0,01	0,0	0,6	4,6
TAN	P	14/05/2004	30,5	108	7,2	59	2,8	1,22	0,01	0,0	0,7	4,7
TAN	P	25/05/2004	29,1	112	7,1	58	3,3	1,38	0,01	0,0	0,7	4,8
TAN	P	07/06/2004	29,2	108	7,8	60	1,5	1,20	0,01	0,0	0,6	5,9
TAN	P	17/06/2004	29,2	104	7,2	56	1,6	1,22	0,01	0,1	0,7	4,3
TAN	P	27/06/2004	26,9	106	7,4	58	1,8	1,30	0,01	0,1	0,6	5,8
TAN	P	08/06/2005	28,20	95	6,9	18	0,4	2,64	0,17	0,2	0,4	6,2
TAN	P	20/06/2005	29,80	122	6,5	18	0,4	2,64	0,17	0,3	0,4	3,3
TAN	P	29/06/2005	28,70	73	6,6	22	1,4	4,40	0,03	0,1	2,5	5,0
TAN	P	06/07/2005	28,30	55	6,5	21	1,2	0,62	0,04	0,5	1,9	4,8
TAN	P	18/07/2005	29,90	58	6,7	20	0,9	0,44	0,04	0,4	1,2	6,0
TAN	P	27/07/2005	28,50	64	6,5	22	1,3	0,44	0,04	0,3	2,2	4,8
MES	P	07/05/2004	30,6	101	7,0	60	2,2	0,35	0,01	0,6	1,6	5,7
MES	P	14/05/2004	30,2	128	7,2	70	2,7	0,35	0,01	0,6	1,5	5,3
MES	P	25/05/2004	29,7	115	7,6	65	3,7	0,50	0,01	0,7	1,6	7,0
MES	P	07/06/2004	29,7	89	7,2	40	1,4	0,62	0,01	0,1	0,4	6,2
MES	P	17/06/2004	30,1	89	7,1	50	1,7	0,69	0,01	0,1	0,4	6,9
MES	P	27/06/2004	27,6	88	7,3	55	2,0	0,58	0,01	0,1	0,4	5,8
MES	P	08/06/2005	28,30	99	6,9	34	0,7	2,64	0,01	0,2	0,4	6,0
MES	P	20/06/2005	29,80	88	6,8	34	0,8	2,64	0,01	0,2	0,3	5,0
MES	P	29/06/2005	28,60	78	6,4	33	0,9	2,64	0,02	0,2	0,5	5,0

Annexe 3.2 : suite

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond (µS cm ⁻¹)	pH	DCO (mg l ⁻¹)	NH ₄ (mg l ⁻¹)	NO ₃ (mg l ⁻¹)	NO ₂ (mg l ⁻¹)	PO ₄ (mg l ⁻¹)	P _{tot} (mg l ⁻¹)	O ₂ (mg l ⁻¹)
MES	P	06/07/2005	28,20	74	6,4	650	3,6	0,44	0,04	0,7	2,1	3,5
MES	P	18/07/2005	29,80	66	6,6	600	1,1	0,44	0,04	0,5	1,3	4,3
MES	P	27/07/2005	28,60	95	6,2	520	3,2	0,44	0,21	0,5	1,3	3,5
ABA	P	06/05/2004	30,3	723	6,5	399	6,5	0,79	0,01	3,9	5,6	0,9
ABA	P	13/05/2004	31,7	602	6,7	362	7,5	0,67	0,02	3,1	4,8	0,5
ABA	P	27/05/2004	29,2	843	6,6	325	7,8	0,55	0,02	2,4	5,2	0,9
ABA	P	08/06/2004	28,5	89	6,8	110	2,0	0,40	0,01	0,1	1,2	5,3
ABA	P	18/06/2004	28,4	81	7,3	150	3,4	0,50	0,01	0,1	1,3	5,7
ABA	P	28/06/2004	28,2	83	7,3	180	2,7	0,40	0,01	0,1	1,4	5,6
ABA	P	08/06/2005	29,00	91	6,3	40	1,0	2,64	0,00	0,2	0,4	5,3
ABA	P	20/06/2005	28,40	89	6,4	49	0,5	2,20	0,01	0,2	0,3	3,9
ABA	P	29/06/2005	28,50	89	6,6	51	1,1	2,64	0,01	0,1	0,5	2,5
ABA	P	06/07/2005	28,70	70	6,4	380	1,1	0,62	0,01	0,3	1,3	4,5
ABA	P	18/07/2005	29,10	64	6,4	400	1,5	0,44	0,05	0,6	1,8	5,5
ABA	P	27/07/2005	28,35	280	6,8	420	0,8	0,44	0,01	0,2	0,8	3,9
BRA	P	06/05/2004	31	598	7,0	560	3,0	0,20	0,01	0,4	3,7	3,2
BRA	P	13/05/2004	30,8	607	7,1	530	4,0	0,31	0,01	0,6	4,0	3,0
BRA	P	27/05/2004	29,3	615	7,9	545	3,5	0,30	0,01	0,8	3,9	2,9
BRA	P	08/06/2004	28,5	146	7,0	520	2,5	0,30	0,01	0,1	0,4	4,8
BRA	P	18/06/2004	28,3	112	7,6	530	2,4	0,29	0,01	0,1	0,5	5,1
BRA	P	28/06/2004	27	180	7,3	540	2,6	0,30	0,01	0,1	0,1	4,4
BRA	P	07/06/2005	30,00	270	6,6	412	1,0	2,20	0,01	0,2	0,4	5,0
BRA	P	17/06/2005	29,00	234	6,4	415	1,0	2,64	0,01	0,2	0,4	3,0
BRA	P	28/06/2005	28,00	490	7,2	420	0,6	2,64	0,00	0,2	0,3	3,2
BRA	P	05/07/2005	28,30	83	6,3	80	1,9	0,44	0,05	0,4	2,4	2,4
BRA	P	15/07/2005	28,90	104	6,3	70	1,9	0,44	0,04	0,5	2,8	3,7
BRA	P	26/07/2005	27,85	231	7,8	41	1,5	0,44	0,05	0,3	1,4	3,1
ENI	P	05/05/2004	31,7	467	9,6	147	2,3	0,58	0,01	0,2	2,4	3,8
ENI	P	12/05/2004	32,9	511	10	162	2,1	0,62	0,01	0,3	2,3	4,0
ENI	P	26/05/2004	30,5	423	9,3	131	2,5	0,55	0,01	0,3	2,3	3,9
ENI	P	08/06/2004	28,7	165	9,7	137	1,7	0,55	0,01	0,2	2,0	6,0
ENI	P	18/06/2004	29,1	140	8,9	150	1,6	0,60	0,01	0,2	2,2	5,6
ENI	P	28/06/2004	29,4	190	9,3	140	1,8	0,55	0,01	0,1	2,3	6,4
ENI	P	07/06/2005	29,00	140	9,1	43	0,3	2,64	0,01	0,2	0,3	5,8
ENI	P	17/06/2005	28,20	132	8,1	39	0,3	2,64	0,01	0,2	0,3	4,8
ENI	P	28/06/2005	27,40	378	9,4	41	1,1	2,20	0,08	0,2	0,4	3,7
ENI	P	05/07/2005	28,50	74	6,6	31	1,0	0,62	0,05	0,5	2,0	4,2
ENI	P	15/07/2005	29,00	58	6,4	25	0,9	0,44	0,07	0,5	1,4	5,1
ENI	P	26/07/2005	28,20	73	6,9	30	0,8	0,62	0,31	0,3	1,3	5,0

Annexe 3.2 : suite

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond (µS cm ⁻¹)	pH	DCO (mg l ⁻¹)	NH ₄ (mg l ⁻¹)	NO ₃ (mg l ⁻¹)	NO ₂ (mg l ⁻¹)	PO ₄ (mg l ⁻¹)	P _{tot} (mg l ⁻¹)	O ₂ (mg l ⁻¹)
SA1	P	05/05/2004	30,7	78	7,5	22	4,0	1,04	0,01	0,5	0,7	5,7
SA1	P	12/05/2004	31,5	76	7,8	28	3,4	0,90	0,01	0,1	0,5	5,9
SA1	P	26/05/2004	29,4	74	7,6	34	2,7	1,19	0,01	0,3	0,6	6,8
SA1	P	08/06/2004	27,9	93	8,2	26	1,7	1,00	0,01	0,0	0,1	5,2
SA1	P	18/06/2004	28,7	90	7,0	25	1,5	0,95	0,01	0,0	0,1	5,7
SA1	P	28/06/2004	28,7	96	7,5	27	1,8	1,20	0,01	0,0	0,1	5,4
SA1	P	07/06/2005	29,40	86	7,4	30	0,5	2,64	0,01	0,1	0,3	6,1
SA1	P	17/06/2005	28,00	86	7,3	36	0,5	2,20	0,01	0,2	0,3	5,6
SA1	P	28/06/2005	27,90	71	7,2	30	0,6	2,20	0,01	0,1	0,6	5,7
SA1	P	05/07/2005	28,60	72	6,6	29	0,9	0,62	0,04	0,4	1,8	4,7
SA1	P	15/07/2005	29,00	58	6,5	27	0,6	0,44	0,21	0,0	1,5	5,2
SA1	P	26/07/2005	27,90	71	6,8	30	0,7	0,44	0,26	0,2	1,2	5,0
SA2	P	05/05/2004	30,9	74	7,2	18	4,0	1,02	0,01	0,0	1,0	5,8
SA2	P	12/05/2004	30,8	77	7,5	23	3,3	0,86	0,01	0,0	1,1	6,8
SA2	P	26/05/2004	29,1	70	7,4	33	2,5	1,19	0,01	0,0	1,0	6,3
SA2	P	08/06/2004	27,9	88	7,9	25	1,5	0,40	0,01	0,0	0,9	6,1
SA2	P	18/06/2004	28,2	93	7,3	22	1,6	0,35	0,01	0,0	1,1	5,9
SA2	P	28/06/2004	28,1	92	7,4	30	1,6	0,56	0,01	0,0	1,0	6,3
SA2	P	07/06/2005	29,20	75	7,6	38	0,1	2,20	0,00	0,2	0,2	6,2
SA2	P	17/06/2005	28,00	70	7,5	38	0,1	2,64	0,00	0,1	0,3	5,2
SA2	P	28/06/2005	27,20	69	7,0	30	0,5	2,64	0,01	0,1	0,6	5,3
SA2	P	05/07/2005	28,60	73	6,6	30	1,4	0,44	0,02	0,3	1,5	4,8
SA2	P	15/07/2005	29,00	58	6,5	31	0,1	0,44	0,02	0,0	2,2	5,4
SA2	P	26/07/2005	29,00	65	6,6	29	0,8	0,44	0,02	0,2	1,9	5,2
TON1	H	07/01/2005	18,75	46	6,5	5	0,1	1,54	0,00	0,1	0,1	8,7
TON1	H	17/01/2005	17,8	50	6,3	7	0,2	1,32	0,00	0,1	0,1	9,3
TON1	H	26/01/2005	19,7	43	6,7	3	0,0	1,76	0,00	0,1	0,1	8,1
TON1	H	03/02/2005	21,80	51	7,3	5	0,1	1,76	0,00	0,1	0,0	7,2
TON1	H	13/02/2005	21,80	54	7,3	5	0,2	2,20	0,00	0,1	0,1	7,7
TON1	H	23/02/2005	24,90	52	7,2	4	0,1	2,20	0,00	0,1	0,1	7,3
TON1	H	07/01/2006	21,30	46	6,2	5	0,2	0,57	0,01	0,1	0,0	7,4
TON1	H	14/01/2006	21,00	48	6,2	6	0,2	0,44	0,01	0,1	0,0	8,0
TON1	H	21/01/2006	21,30	50	5,9	4	0,1	0,88	0,01	0,1	0,0	7,6
TON1	H	05/11/2005	25,80	44	6,2	5	0,0	0,44	0,01	0,1	0,0	6,8
TON1	H	12/11/2005	24,50	43	6,2	6	0,0	0,88	0,01	0,0	0,0	6,8
TON1	H	19/11/2005	24,90	42	6,3	4	0,0	0,44	0,02	0,1	0,0	6,5
TON1	H	03/12/2005	25,60	43	6,2	9	0,0	0,44	0,01	0,1	0,0	5,9
TON1	H	18/12/2005	21,30	44	6,1	7	0,0	0,44	0,01	0,1	0,1	7,2
TON1	H	24/12/2005	21,30	46	6,2	5	0,0	0,44	0,01	0,1	0,0	7,5

Annexe 3.2 : suite

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	DCO (mg l^{-1})	NH ₄ (mg l^{-1})	NO ₃ (mg l^{-1})	NO ₂ (mg l^{-1})	PO ₄ (mg l^{-1})	P _{tot} (mg l^{-1})	O ₂ (mg l^{-1})
TON2	H	07/01/2005	18,75	45	6,5	4	0,0	1,54	0,00	0,1	0,1	8,7
TON2	H	17/01/2005	17,8	47	6,5	7	0,1	0,88	0,00	0,1	0,1	9,3
TON2	H	26/01/2005	19,7	43	6,6	3	0,0	2,20	0,00	0,1	0,1	8,1
TON2	H	03/02/2005	21,70	50	7,4	4	0,0	1,76	0,00	0,1	0,0	7,6
TON2	H	13/02/2005	21,80	52	7,3	3	0,1	1,76	0,00	0,0	0,1	7,7
TON2	H	23/02/2005	24,90	53	7,3	5	0,2	2,64	0,00	0,1	0,1	7,2
TON2	H	07/01/2006	21,20	45	6,1	2	0,2	0,53	0,01	0,1	0,0	7,0
TON2	H	14/01/2006	21,00	49	6,2	3	0,2	0,88	0,01	0,1	0,0	7,6
TON2	H	21/01/2006	21,30	50	5,9	3	0,1	0,88	0,01	0,1	0,0	8,0
TON2	H	05/11/2005	25,80	42	6,3	5	0,0	0,44	0,01	0,0	0,0	7,0
TON2	H	12/11/2005	24,50	40	6,3	6	0,0	0,44	0,01	0,0	0,0	7,0
TON2	H	19/11/2005	24,90	41	6,2	4	0,0	0,44	0,02	0,1	0,0	6,6
TON2	H	03/12/2005	25,70	43	6,3	3	0,0	0,44	0,01	0,1	0,0	6,1
TON2	H	18/12/2005	21,40	44	6,2	5	0,0	0,44	0,01	0,0	0,0	7,3
TON2	H	24/12/2005	21,30	47	6,4	3	0,0	0,88	0,01	0,1	0,0	8,0
HNN	H	10/01/2005	19,55	46	6,7	14	0,5	1,76	0,00	0,2	0,1	8,0
HNN	H	20/01/2005	18,1	42	6,8	19	0,3	1,32	0,00	0,1	0,1	8,7
HNN	H	27/01/2005	21	50	6,6	20	0,7	2,20	0,00	0,2	0,1	7,4
HNN	H	04/02/2005	22,50	50	7,5	5	0,1	1,76	0,00	0,1	0,1	7,3
HNN	H	14/02/2005	21,40	54	7,4	6	0,2	2,20	0,00	0,1	0,1	7,8
HNN	H	24/02/2005	24,20	54	7,4	5	0,2	2,20	0,00	0,1	0,1	7,6
HNN	H	03/01/2006	21,10	45	6,2	4	0,4	0,44	0,01	0,2	0,1	7,9
HNN	H	10/01/2006	21,80	47	6,2	5	0,2	0,44	0,01	0,2	0,1	7,7
HNN	H	17/01/2006	21,40	52	6,3	5	0,3	0,44	0,01	0,2	0,0	8,0
HNN	H	08/11/2005	24,90	45	6,4	3	0,1	0,88	0,01	0,1	0,1	7,5
HNN	H	15/11/2005	24,50	43	6,4	4	0,1	0,44	0,01	0,3	0,1	7,0
HNN	H	22/11/2005	25,80	42	6,2	4	0,1	0,88	0,01	0,1	0,1	6,6
HNN	H	06/12/2005	24,90	42	6,1	10	0,2	0,88	0,01	0,3	0,1	6,6
HNN	H	20/12/2005	22,10	44	6,1	6	0,2	0,44	0,01	0,3	0,5	7,5
HNN	H	27/12/2005	21,10	45	6,2	4	0,4	0,44	0,01	0,2	0,7	7,8
UAM	H	10/01/2005	19,5	46	6,8	15	0,7	1,32	0,00	0,1	0,0	8,1
UAM	H	20/01/2005	18,1	42	6,9	12	0,0	1,76	0,00	0,2	0,1	8,7
UAM	H	27/01/2005	20,9	50	6,7	20	1,3	1,76	0,01	0,1	0,0	7,5
UAM	H	04/02/2005	22,40	51	7,4	10	0,1	1,76	0,01	0,1	0,0	7,5
UAM	H	14/02/2005	21,40	53	7,4	9	0,1	2,20	0,00	0,2	0,1	7,8
UAM	H	24/02/2005	24,10	53	7,5	10	0,2	2,20	0,00	0,1	0,1	7,7
UAM	H	03/01/2006	21,10	45	6,4	7	0,2	0,48	0,01	0,4	0,1	7,9
UAM	H	10/01/2006	21,70	47	6,4	8	0,2	0,44	0,01	0,5	0,2	7,9
UAM	H	17/01/2006	21,30	49	6,1	6	0,3	0,44	0,00	0,5	0,2	8,0
UAM	H	08/11/2005	24,70	42	6,4	8	0,0	0,88	0,01	0,1	0,1	7,6

Annexe 3.2 : suite

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	DCO (mg l^{-1})	NH ₄ (mg l^{-1})	NO ₃ (mg l^{-1})	NO ₂ (mg l^{-1})	PO ₄ (mg l^{-1})	P _{tot} (mg l^{-1})	O ₂ (mg l^{-1})
UAM	H	15/11/2005	24,50	41	6,4	7	0,0	0,44	0,02	0,2	0,1	7,1
UAM	H	22/11/2005	25,70	41	6,3	7	0,0	0,44	0,02	0,1	0,1	6,7
UAM	H	06/12/2005	24,90	42	6,2	8	0,3	0,44	0,01	0,3	0,1	6,5
UAM	H	20/12/2005	22,00	44	6,4	11	0,4	0,44	0,01	0,4	0,1	7,4
UAM	H	27/12/2005	21,10	44	6,4	7	0,4	0,48	0,01	0,4	0,2	7,8
GH	H	09/01/2005	19,75	48	6,7	7	0,3	1,98	0,00	0,1	0,1	7,6
GH	H	19/01/2005	18,1	43	6,7	6	0,2	1,76	0,00	0,1	0,0	8,0
GH	H	28/01/2005	21,4	54	6,7	5	0,4	2,20	0,01	0,1	0,1	7,1
GH	H	02/02/2005	21,60	55	7,0	11	0,5	2,20	0,01	0,1	0,1	7,5
GH	H	12/02/2005	21,60	57	7,3	7	0,4	2,20	0,00	0,1	0,1	7,1
GH	H	22/02/2005	24,40	60	7,1	9	0,5	1,76	0,00	0,1	0,1	7,2
GH	H	03/01/2006	20,90	48	6,4	7	0,5	0,48	0,01	0,3	0,2	7,8
GH	H	10/01/2006	21,70	50	6,3	8	0,4	0,44	0,00	0,4	0,2	7,5
GH	H	17/01/2006	21,60	53	5,7	10	0,3	0,44	0,01	0,4	0,2	7,5
GH	H	08/11/2005	24,50	45	6,3	8	0,2	0,44	0,01	0,0	0,0	7,2
GH	H	15/11/2005	24,30	46	6,4	8	0,1	0,44	0,01	0,1	0,0	6,7
GH	H	22/11/2005	25,60	44	6,4	9	0,2	0,44	0,01	0,0	0,0	6,3
GH	H	06/12/2005	24,70	46	6,3	7	0,6	0,44	0,01	0,4	0,1	6,2
GH	H	20/12/2005	21,90	44	6,2	8	0,4	0,44	0,01	0,4	0,1	7,3
GH	H	27/12/2005	20,90	46	6,4	7	0,5	0,44	0,01	0,3	0,1	7,7
TAN	H	09/01/2005	19,7	47	6,8	13	0,3	1,54	0,00	0,1	0,1	7,8
TAN	H	19/01/2005	18,1	43	6,7	10	0,2	1,32	0,00	0,1	0,0	8,4
TAN	H	28/01/2005	21,3	51	6,8	9	0,3	1,76	0,01	0,1	0,1	7,1
TAN	H	02/02/2005	21,60	53	7,3	9	0,2	1,76	0,00	0,1	0,2	7,3
TAN	H	12/02/2005	21,60	57	7,3	10	0,3	2,20	0,00	0,1	0,1	7,2
TAN	H	22/02/2005	24,30	59	7,2	7	0,5	2,20	0,00	0,1	0,1	7,1
TAN	H	03/01/2006	20,90	47	6,4	7	0,5	0,88	0,01	0,5	0,2	7,7
TAN	H	10/01/2006	21,60	50	6,4	8	0,4	0,44	0,01	0,4	0,1	7,5
TAN	H	17/01/2006	21,40	59	5,7	8	0,5	0,44	0,01	0,4	0,1	7,5
TAN	H	08/11/2005	24,50	43	6,3	6	0,2	0,44	0,01	0,1	0,1	7,2
TAN	H	15/11/2005	24,30	45	6,4	8	0,2	0,44	0,02	0,3	0,1	6,8
TAN	H	22/11/2005	25,60	44	6,4	8	0,1	0,44	0,01	0,2	0,1	6,5
TAN	H	06/12/2005	24,70	45	6,3	4	0,5	0,44	0,01	0,2	0,1	6,3
TAN	H	20/12/2005	21,90	46	6,3	6	0,4	0,44	0,01	0,3	0,1	7,3
TAN	H	27/12/2005	21,00	47	6,5	7	0,5	0,88	0,01	0,2	0,1	7,4
MES	H	09/01/2005	19,75	54	6,7	12	0,7	1,98	0,00	0,1	0,1	6,9
MES	H	19/01/2005	18,2	44	6,8	8	0,2	1,76	0,00	0,1	0,1	7,3
MES	H	28/01/2005	21,3	63	6,6	7	1,3	2,20	0,01	0,1	0,1	6,5
MES	H	02/02/2005	21,70	51	7,2	10	0,5	2,20	0,01	0,1	0,1	7,0
MES	H	12/02/2005	21,60	60	7,4	11	0,6	1,76	0,00	0,1	0,1	7,0

Annexe 3.2 : suite

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	DCO (mg l^{-1})	NH ₄ (mg l^{-1})	NO ₃ (mg l^{-1})	NO ₂ (mg l^{-1})	PO ₄ (mg l^{-1})	P _{tot} (mg l^{-1})	O ₂ (mg l^{-1})
MES	H	22/02/2005	24,50	62	7,2	9	0,8	2,20	0,01	0,1	0,2	7,1
MES	H	03/01/2006	20,90	46	6,4	10	0,4	0,88	0,01	0,3	0,1	7,9
MES	H	10/01/2006	21,60	48	6,4	10	0,3	0,44	0,01	0,3	0,2	7,7
MES	H	17/01/2006	21,40	51	5,8	10	0,3	0,44	0,00	0,3	0,2	7,8
MES	H	08/11/2005	24,40	42	6,1	5	0,1	0,44	0,01	0,2	0,1	7,4
MES	H	15/11/2005	24,20	42	6,4	10	0,1	0,44	0,02	0,2	0,1	6,9
MES	H	22/11/2005	25,50	42	6,4	9	0,1	0,44	0,01	0,1	0,1	6,4
MES	H	06/12/2005	24,60	43	6,3	3	0,5	0,44	0,01	0,4	0,1	6,4
MES	H	20/12/2005	21,90	44	6,4	4	0,3	0,48	0,01	0,4	0,1	7,4
MES	H	27/12/2005	21,00	46	6,5	10	0,4	0,88	0,01	0,3	0,1	7,9
ABA	H	09/01/2005	19,8	47	6,7	15	0,3	1,98	0,00	0,1	0,1	7,7
ABA	H	19/01/2005	18,1	42	6,8	11	0,2	1,76	0,00	0,1	0,1	8,5
ABA	H	28/01/2005	21,5	51	6,7	11	0,3	2,20	0,00	0,1	0,1	6,8
ABA	H	02/02/2005	21,70	51	7,3	5	0,3	2,20	0,00	0,1	0,0	7,1
ABA	H	12/02/2005	21,70	56	7,2	4	0,2	2,20	0,00	0,1	0,1	7,2
ABA	H	22/02/2005	24,70	54	7,3	5	0,4	2,64	0,00	0,2	0,1	6,7
ABA	H	05/01/2006	21,00	46	6,9	8	0,4	0,57	0,01	0,2	0,1	7,6
ABA	H	12/01/2006	21,40	48	6,2	9	0,2	0,44	0,01	0,1	0,1	7,3
ABA	H	19/01/2006	21,30	49	5,9	9	0,3	0,44	0,01	0,1	0,1	7,7
ABA	H	10/11/2005	24,30	42	6,4	4	0,1	0,44	0,01	0,1	0,1	7,4
ABA	H	17/11/2005	24,40	42	6,4	4	0,0	0,44	0,01	0,1	0,1	6,9
ABA	H	24/11/2005	26,00	43	6,2	5	0,1	0,44	0,01	0,1	0,1	6,5
ABA	H	01/12/2005	26,00	43	6,2	6	0,3	0,44	0,01	0,2	0,1	6,5
ABA	H	22/12/2005	21,90	45	6,2	7	0,3	0,44	0,01	0,1	0,0	7,4
ABA	H	29/12/2005	21,00	46	6,7	8	0,3	0,44	0,01	0,2	0,1	7,4
BRA	H	08/01/2005	19,75	61	6,7	9	0,1	1,32	0,00	0,1	0,1	4,9
BRA	H	18/01/2005	18,2	68	6,6	5	0,1	1,76	0,01	0,1	0,1	3,2
BRA	H	27/01/2005	21,3	53	6,7	4	0,1	1,76	0,00	0,0	0,1	6,5
BRA	H	01/02/2005	22,90	56	7,0	9	0,2	1,76	0,00	0,2	0,1	6,6
BRA	H	11/02/2005	22,70	62	7,1	7	0,3	2,20	0,01	0,2	0,1	6,7
BRA	H	21/02/2005	24,80	81	7,1	8	0,3	2,20	0,00	0,1	0,1	6,4
BRA	H	05/01/2006	21,00	46	6,6	7	0,2	0,48	0,01	0,1	0,0	6,4
BRA	H	12/01/2006	21,60	52	6,1	7	0,2	0,44	0,00	0,1	0,3	6,3
BRA	H	19/01/2006	21,30	58	5,9	6	0,3	0,44	0,01	0,1	0,1	5,3
BRA	H	10/11/2005	24,30	45	6,2	7	0,1	0,44	0,01	0,1	0,1	5,7
BRA	H	17/11/2005	24,50	44	6,3	10	0,0	0,44	0,01	0,1	0,1	5,5
BRA	H	24/11/2005	25,90	44	6,2	10	0,1	0,88	0,01	0,1	0,0	5,0
BRA	H	01/12/2005	25,90	44	6,2	8	0,2	0,88	0,01	0,1	0,0	5,0
BRA	H	22/12/2005	21,90	45	5,8	7	0,3	0,44	0,01	0,1	0,0	6,5
BRA	H	29/12/2005	21,00	46	6,5	10	0,2	0,44	0,01	0,1	0,0	6,6

Annexe 3.2 : suite

Stations	Reg	Date de prélèvement	Temp (°C)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	DCO (mg l^{-1})	NH ₄ (mg l^{-1})	NO ₃ (mg l^{-1})	NO ₂ (mg l^{-1})	PO ₄ (mg l^{-1})	P _{tot} (mg l^{-1})	O ₂ (mg l^{-1})
ENI	H	08/01/2005	19,85	56	6,7	7	0,0	1,32	0,01	0,1	0,0	7,4
ENI	H	18/01/2005	18,3	51	6,6	4	0,0	1,76	0,01	0,1	0,0	8,0
ENI	H	27/01/2005	21,4	61	6,9	2	0,1	1,76	0,01	0,1	0,0	6,8
ENI	H	01/02/2005	22,90	66	7,4	7	0,1	1,76	0,01	0,1	0,1	6,4
ENI	H	11/02/2005	22,60	55	7,4	6	0,2	1,76	0,00	0,1	0,1	6,9
ENI	H	21/02/2005	24,60	57	7,2	7	0,2	2,20	0,00	0,1	0,1	6,8
ENI	H	05/01/2006	20,90	46	6,4	6	0,3	0,48	0,01	0,2	0,1	7,3
ENI	H	12/01/2006	21,00	49	6,1	6	0,1	0,44	0,00	0,1	0,0	7,5
ENI	H	19/01/2006	21,30	50	6,0	6	0,3	0,44	0,00	0,1	0,0	7,5
ENI	H	10/11/2005	24,20	43	6,4	5	0,1	0,44	0,01	0,1	0,1	7,2
ENI	H	17/11/2005	24,30	42	6,4	7	0,1	0,44	0,01	0,1	0,0	6,8
ENI	H	24/11/2005	26,00	43	6,3	6	0,1	0,88	0,01	0,1	0,0	6,3
ENI	H	01/12/2005	26,00	43	6,3	10	0,1	0,88	0,01	0,2	0,1	6,3
ENI	H	22/12/2005	21,90	44	6,2	4	0,3	0,44	0,01	0,2	0,1	7,1
ENI	H	29/12/2005	21,00	45	6,4	6	0,3	0,44	0,01	0,2	0,1	7,2
SA1	H	08/01/2005	19,8	52	6,7	7	0,1	1,32	0,01	0,1	0,0	7,9
SA1	H	18/01/2005	18,2	51	6,6	4	0,0	1,76	0,00	0,1	0,0	8,3
SA1	H	27/01/2005	21,4	53	6,8	3	0,2	1,76	0,01	0,1	0,1	7,5
SA1	H	01/02/2005	22,80	52	7,4	5	0,1	1,76	0,00	0,2	0,3	7,5
SA1	H	11/02/2005	22,60	54	7,2	6	0,2	2,20	0,01	0,1	0,1	7,1
SA1	H	21/02/2005	24,70	56	7,2	5	0,3	2,20	0,00	0,1	0,1	6,5
SA1	H	05/01/2006	20,90	46	6,3	2	0,3	0,62	0,01	0,2	0,1	7,6
SA1	H	12/01/2006	21,00	48	6,2	3	0,2	0,44	0,01	0,1	0,1	7,8
SA1	H	19/01/2006	21,30	49	6,0	3	0,2	0,44	0,00	0,1	0,0	7,6
SA1	H	10/11/2005	24,20	43	6,8	7	0,1	0,44	0,01	0,2	0,1	7,0
SA1	H	17/11/2005	24,30	42	6,4	7	0,0	0,44	0,01	0,1	0,0	6,8
SA1	H	24/11/2005	25,90	44	6,3	6	0,1	0,44	0,01	0,1	0,0	6,1
SA1	H	01/12/2005	25,90	44	6,3	8	0,1	0,44	0,01	0,0	0,0	6,1
SA1	H	22/12/2005	21,90	44	6,2	8	0,3	0,44	0,01	0,0	0,0	7,3
SA1	H	29/12/2005	21,10	45	6,3	2	0,3	0,44	0,01	0,1	0,0	7,4
SA2	H	08/01/2005	19,7	51	6,7	5	0,1	1,54	0,01	0,1	0,0	8,3
SA2	H	18/01/2005	18,1	48	6,7	2	0,0	1,32	0,01	0,1	0,0	9,4
SA2	H	27/01/2005	21,3	53	6,8	1	0,1	1,76	0,01	0,1	0,0	7,3
SA2	H	01/02/2005	22,80	52	7,4	6	0,1	1,76	0,00	0,2	0,1	7,5
SA2	H	11/02/2005	22,70	54	7,3	7	0,1	2,20	0,00	0,1	0,0	7,2
SA2	H	21/02/2005	24,70	55	7,3	5	0,3	1,76	0,00	0,1	0,0	6,5
SA2	H	05/01/2006	20,90	46	6,2	6	0,3	0,48	0,01	0,1	0,0	7,7
SA2	H	12/01/2006	21,00	48	6,2	6	0,1	0,44	0,01	0,1	0,1	7,8
SA2	H	19/01/2006	21,40	49	6,0	6	0,3	0,44	0,00	0,1	0,0	7,8
SA2	H	10/11/2005	24,30	42	6,6	5	0,2	4,40	0,01	0,2	0,1	7,2

Annexe 3.2 : suite

Station s	Régime fleuve	Date de prélèvement	Matières en suspension (mg l⁻¹)
SA2	H	17/11/2005	24,30
SA2	H	24/11/2005	26,00
SA2	H	01/12/2005	26,00
SA2	H	22/12/2005	21,90
SA2	H	29/12/2005	21,10
TON1	e	04/03/2005	33
TON1	e	17/03/2005	29
TON1	e	29/03/2005	23
TON1	e	04/04/2005	24
TON1	e	14/04/2005	27
TON1	e	25/04/2005	31
TON1	e	02/05/2005	29
TON1	e	12/05/2005	24
TON1	e	23/05/2005	29
TON2	e	04/03/2005	30
TON2	e	17/03/2005	31
TON2	e	29/03/2005	25
TON2	e	04/04/2005	26
TON2	e	14/04/2005	25
TON2	e	25/04/2005	24
TON2	e	02/05/2005	30
TON2	e	12/05/2005	28
TON2	e	23/05/2005	26
HNN	e	03/03/2005	31
HNN	e	16/03/2005	36
HNN	e	28/03/2005	22
HNN	e	07/04/2005	23
HNN	e	19/04/2005	27
HNN	e	28/04/2005	30
HNN	e	05/05/2005	25
HNN	e	17/05/2005	33
HNN	e	26/05/2005	38
UAM	e	03/03/2005	34
UAM	e	16/03/2005	31
UAM	e	28/03/2005	19
UAM	e	07/04/2005	21
UAM	e	19/04/2005	23
UAM	e	28/04/2005	25
UAM	e	05/05/2005	29
UAM	e	17/05/2005	37
UAM	e	26/05/2005	36
GH	e	02/03/2005	33

Annexe 3.2 : suite

Station s	Regime fleuve	Date de prélèvement	Matières en suspension (mg l⁻¹)
GH	e	15/03/2005	34
GH	e	25/03/2005	22
GH	e	06/04/2005	24
GH	e	18/04/2005	39
GH	e	27/04/2005	32
GH	e	04/05/2005	37
GH	e	16/05/2005	38
GH	e	25/05/2005	40
TAN	e	02/03/2005	32
TAN	e	15/03/2005	31
TAN	e	25/03/2005	18
TAN	e	06/04/2005	19
TAN	e	18/04/2005	33
TAN	e	27/04/2005	26
TAN	e	04/05/2005	38
TAN	e	16/05/2005	35
TAN	e	25/05/2005	45
MES	e	02/03/2005	33
MES	e	15/03/2005	30
MES	e	25/03/2005	58
MES	e	06/04/2005	50
MES	e	18/04/2005	45
MES	e	27/04/2005	32
MES	e	04/05/2005	33
MES	e	16/05/2005	34
MES	e	25/05/2005	38
ABA	e	02/03/2005	52
ABA	e	15/03/2005	65
ABA	e	25/03/2005	56
ABA	e	06/04/2005	57
ABA	e	18/04/2005	57
ABA	e	27/04/2005	66
ABA	e	04/05/2005	36
ABA	e	16/05/2005	57
ABA	e	25/05/2005	60
BRA	e	01/03/2005	60
BRA	e	14/03/2005	60
BRA	e	24/03/2005	67
BRA	e	05/04/2005	66
BRA	e	15/04/2005	46
BRA	e	26/04/2005	65

Annexe 3.2 : suite

Stations	Regime fleuve	Date de prélèvement	Matières en suspension (mg l⁻¹)
BRA	e	03/05/2005	62
BRA	e	13/05/2005	63
BRA	e	24/05/2005	65
ENI	e	01/03/2005	43
ENI	e	14/03/2005	49
ENI	e	24/03/2005	29
ENI	e	05/04/2005	30
ENI	e	15/04/2005	36
ENI	e	26/04/2005	40
ENI	e	03/05/2005	46
ENI	e	13/05/2005	53
ENI	e	24/05/2005	57
SA1	e	01/03/2005	29
SA1	e	14/03/2005	34
SA1	e	24/03/2005	22
SA1	e	05/04/2005	23
SA1	e	15/04/2005	42
SA1	e	26/04/2005	50
SA1	e	03/05/2005	36
SA1	e	13/05/2005	39
SA1	e	24/05/2005	29
SA2	e	01/03/2005	34
SA2	e	14/03/2005	29
SA2	e	24/03/2005	25
SA2	e	05/04/2005	26
SA2	e	15/04/2005	33
SA2	e	26/04/2005	39
SA2	e	03/05/2005	36
SA2	e	13/05/2005	34
SA2	e	24/05/2005	36
TON1	P	06/06/2005	424
TON1	P	16/06/2005	545
TON1	P	27/06/2005	1210
TON1	P	04/07/2005	1320
TON1	P	14/07/2005	1250
TON1	P	25/07/2005	1265
TON2	P	06/06/2005	430
TON2	P	16/06/2005	547
TON2	P	27/06/2005	1210
TON2	P	04/07/2005	1410
TON2	P	14/07/2005	1380

Annexe 3.2 : suite

Stations	Regime fleuve	Date de prélèvement	Matières en suspension (mg l⁻¹)
TON2	P	25/07/2005	1310
HNN	P	09/06/2005	2060
HNN	P	21/06/2005	1300
HNN	P	30/06/2005	1000
HNN	P	07/07/2005	2060
HNN	P	19/07/2005	1020
HNN	P	28/07/2005	1530
UAM	P	09/06/2005	2010
UAM	P	21/06/2005	1200
UAM	P	30/06/2005	1000
UAM	P	07/07/2005	1980
UAM	P	19/07/2005	650
UAM	P	28/07/2005	1300
GH	P	08/06/2005	980
GH	P	20/06/2005	1570
GH	P	29/06/2005	770
GH	P	06/07/2005	1860
GH	P	18/07/2005	1010
GH	P	27/07/2005	1215
TAN	P	08/06/2005	560
TAN	P	20/06/2005	600
TAN	P	29/06/2005	770
TAN	P	06/07/2005	1940
TAN	P	18/07/2005	1020
TAN	P	27/07/2005	1355
MES	P	08/06/2005	640
MES	P	20/06/2005	720
MES	P	29/06/2005	830
MES	P	06/07/2005	1760
MES	P	18/07/2005	980
MES	P	27/07/2005	1345
ABA	P	08/06/2005	670
ABA	P	20/06/2005	700
ABA	P	29/06/2005	920
ABA	P	06/07/2005	1740
ABA	P	18/07/2005	1370
ABA	P	27/07/2005	1185
BRA	P	07/06/2005	480
BRA	P	17/06/2005	505
BRA	P	28/06/2005	630
BRA	P	05/07/2005	1660

Annexe 3.2 : suite

Station s	Regime fleuve	Date de prélèvement	Matières en suspension (mg l⁻¹)
BRA	P	15/07/2005	1200
BRA	P	26/07/2005	1130
ENI	P	07/06/2005	420
ENI	P	17/06/2005	511
ENI	P	28/06/2005	600
ENI	P	05/07/2005	1760
ENI	P	15/07/2005	1330
ENI	P	26/07/2005	1295
SA1	P	07/06/2005	645
SA1	P	17/06/2005	712
SA1	P	28/06/2005	830
SA1	P	05/07/2005	1840
SA1	P	15/07/2005	1310
SA1	P	26/07/2005	1325
SA2	P	07/06/2005	523
SA2	P	17/06/2005	609
SA2	P	28/06/2005	810
SA2	P	05/07/2005	1840
SA2	P	15/07/2005	1280
SA2	P	26/07/2005	1600
TON1	H	07/01/2006	18
TON1	H	14/01/2006	26
TON1	H	21/01/2006	13
TON1	H	05/11/2005	34
TON1	H	12/11/2005	34
TON1	H	19/11/2005	33
TON1	H	03/12/2005	29
TON1	H	18/12/2005	25
TON1	H	24/12/2005	18
TON2	H	07/01/2006	18
TON2	H	14/01/2006	34
TON2	H	21/01/2006	13
TON2	H	05/11/2005	40
TON2	H	12/11/2005	34
TON2	H	19/11/2005	33
TON2	H	03/12/2005	27
TON2	H	18/12/2005	26
TON2	H	24/12/2005	15
HNN	H	03/01/2006	22
HNN	H	10/01/2006	23
HNN	H	17/01/2006	23

Annexe 3.2 : suite

Stations	Regime fleuve	Date de prélèvement	Matières en suspension (mg l⁻¹)
HNN	H	08/11/2005	37
HNN	H	15/11/2005	33
HNN	H	22/11/2005	30
HNN	H	06/12/2005	33
HNN	H	20/12/2005	26
HNN	H	27/12/2005	22
UAM	H	03/01/2006	18
UAM	H	10/01/2006	23
UAM	H	17/01/2006	17
UAM	H	08/11/2005	35
UAM	H	15/11/2005	41
UAM	H	22/11/2005	36
UAM	H	06/12/2005	31
UAM	H	20/12/2005	25
UAM	H	27/12/2005	20
GH	H	03/01/2006	28
GH	H	10/01/2006	27
GH	H	17/01/2006	21
GH	H	08/11/2005	37
GH	H	15/11/2005	40
GH	H	22/11/2005	37
GH	H	06/12/2005	30
GH	H	20/12/2005	28
GH	H	27/12/2005	26
TAN	H	03/01/2006	23
TAN	H	10/01/2006	25
TAN	H	17/01/2006	18
TAN	H	08/11/2005	39
TAN	H	15/11/2005	35
TAN	H	22/11/2005	32
TAN	H	06/12/2005	26
TAN	H	20/12/2005	25
TAN	H	27/12/2005	24
MES	H	03/01/2006	22
MES	H	10/01/2006	26
MES	H	17/01/2006	23
MES	H	08/11/2005	41
MES	H	15/11/2005	36
MES	H	22/11/2005	30
MES	H	06/12/2005	33
MES	H	20/12/2005	27

Annexe 3.2 : suite

Station s	Regime fleuve	Date de prélèvement	Matières en suspension (mg l⁻¹)
MES	H	27/12/2005	23
ABA	H	05/01/2006	22
ABA	H	12/01/2006	22
ABA	H	19/01/2006	15
ABA	H	10/11/2005	40
ABA	H	17/11/2005	31
ABA	H	24/11/2005	33
ABA	H	01/12/2005	33
ABA	H	22/12/2005	26
ABA	H	29/12/2005	23
BRA	H	05/01/2006	20
BRA	H	12/01/2006	16
BRA	H	19/01/2006	16
BRA	H	10/11/2005	31
BRA	H	17/11/2005	26
BRA	H	24/11/2005	25
BRA	H	01/12/2005	25
BRA	H	22/12/2005	19
BRA	H	29/12/2005	22
ENI	H	05/01/2006	19
ENI	H	12/01/2006	21
ENI	H	19/01/2006	16
ENI	H	10/11/2005	38
ENI	H	17/11/2005	28
ENI	H	24/11/2005	33
ENI	H	01/12/2005	33
ENI	H	22/12/2005	24
ENI	H	29/12/2005	21
SA1	H	05/01/2006	23
SA1	H	12/01/2006	21
SA1	H	19/01/2006	18
SA1	H	10/11/2005	38
SA1	H	17/11/2005	30
SA1	H	24/11/2005	25
SA1	H	01/12/2005	25
SA1	H	22/12/2005	23
SA1	H	29/12/2005	25
SA2	H	05/01/2006	16
SA2	H	12/01/2006	26
SA2	H	19/01/2006	17
SA2	H	10/11/2005	31

Annexe 3.2 : suite

Stations	Régime fleuve	Date de prélèvement	Saturation en oxygène (%)
SA2	H	17/11/2005	30
SA2	H	24/11/2005	32
SA2	H	01/12/2005	32
SA2	H	22/12/2005	23
SA2	H	29/12/2005	20
TON1	e	04/03/2005	92,6
TON1	e	17/03/2005	90,2
TON1	e	29/03/2005	90,7
TON1	e	04/04/2005	89,5
TON1	e	14/04/2005	95,5
TON1	e	25/04/2005	101,4
TON1	e	02/05/2005	101,8
TON1	e	12/05/2005	88,0
TON1	e	23/05/2005	87,9
TON2	e	04/03/2005	91,6
TON2	e	17/03/2005	92,1
TON2	e	29/03/2005	89,4
TON2	e	04/04/2005	89,4
TON2	e	14/04/2005	94,0
TON2	e	25/04/2005	98,6
TON2	e	02/05/2005	99,6
TON2	e	12/05/2005	88,8
TON2	e	23/05/2005	94,0
HNN	e	03/03/2005	93,8
HNN	e	16/03/2005	95,8
HNN	e	28/03/2005	93,3
HNN	e	07/04/2005	92,6
HNN	e	19/04/2005	91,5
HNN	e	28/04/2005	90,0
HNN	e	05/05/2005	88,8
HNN	e	17/05/2005	106,4
HNN	e	26/05/2005	87,0
UAM	e	03/03/2005	95,3
UAM	e	16/03/2005	95,5
UAM	e	28/03/2005	92,0
UAM	e	07/04/2005	90,5
UAM	e	19/04/2005	92,0
UAM	e	28/04/2005	92,7
UAM	e	05/05/2005	94,3
UAM	e	17/05/2005	106,8
UAM	e	26/05/2005	100,6

Annexe 3.2 : suite

Stations	Regime fleuve	Date de prélèvement	Saturation en oxygène (%)
GH	e	02/03/2005	73,5
GH	e	15/03/2005	97,7
GH	e	25/03/2005	88,0
GH	e	06/04/2005	85,5
GH	e	18/04/2005	107,0
GH	e	27/04/2005	128,6
GH	e	04/05/2005	165,3
GH	e	16/05/2005	138,7
GH	e	25/05/2005	108,0
TAN	e	02/03/2005	78,0
TAN	e	15/03/2005	98,5
TAN	e	25/03/2005	96,0
TAN	e	06/04/2005	95,6
TAN	e	18/04/2005	90,0
TAN	e	27/04/2005	84,5
TAN	e	04/05/2005	94,8
TAN	e	16/05/2005	102,5
TAN	e	25/05/2005	86,0
MES	e	02/03/2005	76,5
MES	e	15/03/2005	88,1
MES	e	25/03/2005	96,0
MES	e	06/04/2005	94,1
MES	e	18/04/2005	92,6
MES	e	27/04/2005	90,9
MES	e	04/05/2005	114,9
MES	e	16/05/2005	105,1
MES	e	25/05/2005	94,0
ABA	e	02/03/2005	83,0
ABA	e	15/03/2005	76,4
ABA	e	25/03/2005	90,7
ABA	e	06/04/2005	89,5
ABA	e	18/04/2005	81,6
ABA	e	27/04/2005	73,8
ABA	e	04/05/2005	107,2
ABA	e	16/05/2005	97,0
ABA	e	25/05/2005	95,0
BRA	e	01/03/2005	38,0
BRA	e	14/03/2005	39,0
BRA	e	24/03/2005	23,0
BRA	e	05/04/2005	24,0
BRA	e	15/04/2005	99,0
BRA	e	26/04/2005	176,0
BRA	e	03/05/2005	66,0
BRA	e	13/05/2005	81,0
BRA	e	24/05/2005	80,0

Annexe 3.2 : suite

Stations	Regime fleuve	Date de prélèvement	Saturation en oxygène (%)
ENI	e	01/03/2005	81,9
ENI	e	14/03/2005	64,0
ENI	e	24/03/2005	82,1
ENI	e	05/04/2005	80,0
ENI	e	15/04/2005	78,7
ENI	e	26/04/2005	77,8
ENI	e	03/05/2005	102,2
ENI	e	13/05/2005	94,7
ENI	e	24/05/2005	76,0
SA1	e	01/03/2005	90,6
SA1	e	14/03/2005	81,0
SA1	e	24/03/2005	89,1
SA1	e	05/04/2005	89,0
SA1	e	15/04/2005	82,5
SA1	e	26/04/2005	77,8
SA1	e	03/05/2005	102,3
SA1	e	13/05/2005	85,6
SA1	e	24/05/2005	74,0
SA2	e	01/03/2005	92,0
SA2	e	14/03/2005	91,0
SA2	e	24/03/2005	91,2
SA2	e	05/04/2005	90,5
SA2	e	15/04/2005	84,9
SA2	e	26/04/2005	79,4
SA2	e	03/05/2005	107,2
SA2	e	13/05/2005	83,4
SA2	e	24/05/2005	85,0
TON1	P	04/07/2005	80,2
TON1	P	14/07/2005	85,5
TON1	P	25/07/2005	82,0
TON2	P	04/07/2005	79,0
TON2	P	14/07/2005	85,6
TON2	P	25/07/2005	80,9
HNN	P	07/07/2005	80,0
HNN	P	19/07/2005	88,1
HNN	P	28/07/2005	80,0
UAM	P	07/07/2005	78,9
UAM	P	19/07/2005	88,2
UAM	P	28/07/2005	84,0
GH	P	06/07/2005	62,9
GH	P	18/07/2005	81,0
GH	P	27/07/2005	62,9
TAN	P	06/07/2005	64,2
TAN	P	18/07/2005	81,1
TAN	P	27/07/2005	64,2
MES	P	06/07/2005	45,3

Annexe 3.2 : suite

Stations	Régime fleuve	Date de prélèvement	Saturation en oxygène (%)
MES	P	18/07/2005	55,3
MES	P	27/07/2005	45,3
ABA	P	06/07/2005	57,7
ABA	P	18/07/2005	76,0
ABA	P	27/07/2005	57,7
BRA	P	05/07/2005	33,1
BRA	P	15/07/2005	48,5
BRA	P	26/07/2005	33,1
ENI	P	05/07/2005	55,2
ENI	P	15/07/2005	67,4
ENI	P	26/07/2005	55,2
SA1	P	05/07/2005	62,3
SA1	P	15/07/2005	69,4
SA1	P	26/07/2005	62,3
SA2	P	05/07/2005	63,8
SA2	P	15/07/2005	71,4
SA2	P	26/07/2005	68,0
TON1	H	05/11/2005	84,8
TON1	H	12/11/2005	83,2
TON1	H	19/11/2005	79,6
TON1	H	03/12/2005	73,3
TON1	H	18/12/2005	81,4
TON1	H	24/12/2005	86,5
TON2	H	05/11/2005	87,6
TON2	H	12/11/2005	84,8
TON2	H	19/11/2005	80,4
TON2	H	03/12/2005	75,0
TON2	H	18/12/2005	84,1
TON2	H	24/12/2005	87,0
HNN	H	08/11/2005	92,3
HNN	H	15/11/2005	86,4
HNN	H	22/11/2005	83,3
HNN	H	06/12/2005	81,2
HNN	H	20/12/2005	86,6
HNN	H	27/12/2005	90,0
UAM	H	08/11/2005	95,8
UAM	H	15/11/2005	87,4
UAM	H	22/11/2005	83,2
UAM	H	06/12/2005	80,8
UAM	H	20/12/2005	86,3
UAM	H	27/12/2005	90,0
GH	H	08/11/2005	87,4
GH	H	15/11/2005	80,8
GH	H	22/11/2005	78,6
GH	H	06/12/2005	75,5
GH	H	20/12/2005	83,7
GH	H	27/12/2005	88,0

Annexe 3.2 : suite

Stations	Régime fleuve	Date de prélèvement	Saturation en oxygène (%)
TAN	H	08/11/2005	88,3
TAN	H	15/11/2005	83,0
TAN	H	22/11/2005	79,2
TAN	H	06/12/2005	76,8
TAN	H	20/12/2005	83,9
TAN	H	27/12/2005	88,3
MES	H	08/11/2005	90,0
MES	H	15/11/2005	84,4
MES	H	22/11/2005	79,6
MES	H	06/12/2005	78,2
MES	H	20/12/2005	86,1
MES	H	27/12/2005	90,1
ABA	H	10/11/2005	90,0
ABA	H	17/11/2005	84,0
ABA	H	24/11/2005	81,7
ABA	H	01/12/2005	81,7
ABA	H	22/12/2005	85,1
ABA	H	29/12/2005	87,7
BRA	H	10/11/2005	69,2
BRA	H	17/11/2005	66,9
BRA	H	24/11/2005	61,4
BRA	H	01/12/2005	61,4
BRA	H	22/12/2005	74,0
BRA	H	29/12/2005	73,3
ENI	H	10/11/2005	87,6
ENI	H	17/11/2005	81,5
ENI	H	24/11/2005	75,8
ENI	H	01/12/2005	75,8
ENI	H	22/12/2005	82,2
ENI	H	29/12/2005	84,2
SA1	H	10/11/2005	84,8
SA1	H	17/11/2005	82,9
SA1	H	24/11/2005	76,9
SA1	H	01/12/2005	76,9
SA1	H	22/12/2005	84,9
SA1	H	29/12/2005	87,5
SA2	H	10/11/2005	87,3
SA2	H	17/11/2005	81,9
SA2	H	24/11/2005	78,9
SA2	H	01/12/2005	78,9
SA2	H	22/12/2005	85,9
SA2	H	29/12/2005	88,3

Annexe 3.3 : Type de transformation de données appliquées à la physico-chimie du fleuve

Paramètres	Toutes saisons confondues	Etiage	Hivernage	Crue
Température	LOG10 (X)	non	non	non
Conductivité	LOG K	$\text{LOG}^{10-3}(0,1*X)$	LOG10	$\text{LOG}^{10-3}(0,1*X)$
pH	$\text{LOG}((X*0,001+1)*10)$	non	non	non
DCO	LOG DCO	LOG10(X)	non	$\text{LOG10}(X+1)$
NH₄	$\text{LOG}((X+0,001)*1000)$	$\text{LOG10}((X+0,1)*10)$	non	$\text{LOG10}(X+1)$
NO₃	Non	$\text{LOG}^{1/2}(X+1)$	$\text{LOG10}((X+0,001)*1000)$	non
NO₂	Non	$\text{LOG10}((X+0,001)*1000)$	$\text{LOG10}((X+0,001)*1000)$	non
PO₄	Non	$\text{LOG10}((X+0,1)*10)$	non	$\text{LOG10}((X+0,001)*1000)$
P_{tot}	LOG P	$\text{LOG10}((X+0,001)*1000)$	$\text{LOG10}((X+0,1)*10)$	$\text{LOG10}((X+0,001)*1000)$
O_{2d}	LOG O2	non	$\text{LOG10}(0,001*X+1000)$	non
Profondeur	$\text{LOG}((X*0,001+1)*10)$	LOG10	$\text{LOG}^{1/4}(X)$	$\text{log}^{1/2}(X)$
Débit	LOG Dbt	LOG10	LOG10	non

Annexe 4.1 : Abondance des taxons de macroinvertébrés par type de prélèvement dans les stations du fleuve Niger à proximité de Niamey

(Substrat artificiel = SA, Jacinthe d'eau = JE, Filet troubleau = FT, Nematelminthes = Nem, Hirudinés 1 = Hir 1, Hirudinés 2 = Hir 2, Hirudinés 3 = Hir 3, *Lanistes* = Lan, *Pila* = Pil, *Sphaerium* = Sph, *Burnupia* = Bur, *Biomphalaria* = Bio, *Melania* = Mel, *Lymnaea* = Lym, *Aspatharia* = Asp, *Bulinus* = Bul, *Caridina* = Car, *Potamonautes* = Pot, *Thraulus* = Thr, *Adenophlebia* = Ade, *Caenis* = Cae, *Cloen* = Clo, *Centropiloides* = Cen, *Baetis* = Bae, *Afronurus* = Afr, *Elassoneuria* = Ela, *Ephemerellina* = Eph, *Neoperla* = Npe, *Ictinogomphus ferox* = Ict, *Phyllogomphus* = Phy, *Pseudagrion* = Pse, *Ischnura* = Isc, Libellulidae = Lib, Cordulidae = Cor, *Agraptocorixa* = Agr, *Micronecta* = Meu, *Naucoris* = Nau, *Hydrocyrius* = Hco, *Hydrometra* = Hme, *Mesovelia* = Mes, *Ranatra* = Ran, *Notonecta* = Not, *Stenelmis* = Ste, *Helminthocaris* = Hel, *Rhantaticus* = Rhan, *Canthydrus* = Can, *Hydrochus* = Hyd, *Amphiops* = Amp, *Neohydrophilus* = Neo, *Spercheus* = Spe, *Dipseudopsis* = Dip, *Ecnomus* = Ec, *Macronema* = Mac, Syrphidae = Syr, Tipulidae = Tip, Tabanidae = Tab, Ceratopogonidae = Cer, *Mansonia* = Man, *Chironomus* = Chip, *Microchironomus* = Mchi, *Parachironomus* = Pchi, *Cryptochironomus* 1 = Cryp, *Cryptochironomus* 2 = Cryp 2, CCryp = *Cryptochironomini*, *Xenochironomus* = Xchi, *Chironomini* 1 = Chir 1, *Chironomini* 2 = Chir 2, *Glyptotendipes* = Glyp, *Polypedilum* 1 = Pol 1, *Polypedilum* 2 = Pol 2, *Ablabesmyia* = Abla, *Micropelopiinae* = Mpel, *Dicrotendipes* = Dicr, *Nilodosis* = Nil, Cf *Tanytarsus* = Tan, Orthoclaadiinae = Orth, *Procladius* = Proc)

ID	Sta	Date	Meth	Nem	Hir1	Hir2	Hir3	Lan	Pil	Sph	Bur	Bio	Mel	Lym
1	ABA	17-juin-04	SA	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0
2	ABA	17-févr.-05	JE	10	38	367	419	82	7	0	0	26	0	0
3	ABA	27-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
4	ABA	29-mai-05	FT	1	0	0	0	0	1	0	0	0	50	11
5	ABA	18-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	9
6	ABA	7-févr.-06	JE	12	74	196	145	80	1	0	0	45	2	0
7	ABA	12Mars2006	FT	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	48
8	BRA	17-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
9	BRA	17-févr.-05	JE	1	67	118	137	48	16	0	0	30	0	0
10	BRA	26-mai-05	SA	2	0	0	0	0	0	6	0	0	2	0
11	BRA	29-mai-05	FT	10	0	0	0	0	0	5	0	0	1	2
12	BRA	15-juin-05	FT	3	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0
13	BRA	7-févr.-06	JE	1	3	40	72	8	1	0	0	2	0	0
14	BRA	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
15	ENI	18-juin-04	SA	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	ENI	18-févr.-05	JE	6	2	44	55	26	1	0	0	76	0	0
17	ENI	26-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	ENI	29-mai-05	FT	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	ENI	15-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	ENI	9-févr.-06	JE	0	6	45	76	21	0	0	0	32	3	0
21	ENI	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
22	GH	19-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
23	GH	16-févr.-05	JE	0	32	48	56	9	13	0	0	4	0	0
24	GH	28-mai-05	SA	57	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
25	GH	29-mai-05	FT	34	0	0	0	0	4	0	0	0	13	0
26	GH	18-juin-05	FT	33	0	0	0	0	6	0	0	0	31	0
27	GH	6-févr.-06	JE	6	10	82	108	56	2	0	0	6	0	0
28	GH	11-mars-06	FT	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	0
29	HNN	15-juin-04	SA	180	372	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	HNN	29-mai-05	SA	8	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0
31	MES	20-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0
32	MES	27-mai-05	SA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	456	0
33	MES	29-mai-05	FT	1	0	0	0	0	0	0	0	0	224	1
34	MES	17-févr.-05	JE	0	10	31	53	15	22	0	0	0	0	0
35	MES	18-juin-05	FT	1	0	0	0	0	0	0	0	0	63	1
36	MES	7-févr.-06	JE	1	19	48	80	20	23	0	0	0	0	0
37	MES	12-mars-06	FT	1	0	0	0	0	0	0	0	0	156	3
38	SA 2	18-juin-04	SA	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	SA 2	18-févr.-05	JE	11	7	113	125	3	0	0	1	34	0	0
40	SA 2	26-mai-05	SA	11	0	0	0	0	5	29	0	0	0	0
41	SA 2	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0
42	SA 2	15-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
43	SA 2	9-févr.-06	JE	0	30	172	12	7	0	0	0	0	0	0
44	SA 2	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	6	0	0	1	4
45	TAN	19-juin-04	SA	0	0	0	0	0	20	0	0	0	786	0
46	TAN	16-févr.-05	JE	3	1	52	63	1	1	0	0	1	0	0
47	TAN	27-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13890	3
48	TAN	28-mai-05	SA	6	0	0	0	0	10	0	0	0	980	0
49	TAN	22-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12502	7
50	TAN	6-févr.-06	JE	7	3	98	149	153	10	0	0	4	3	0
51	TAN	11-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11525	3
52	TON I	15-juin-04	SA	18	8	0	0	0	0	5	0	0	0	0
53	TON I	15-févr.-05	JE	4	1	48	63	1	0	0	0	0	0	0
54	TON I	27-mai-05	FT	2	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0
55	TON I	30-mai-05	SA	3	2	0	0	0	9	0	0	0	0	0
56	TON I	23-juin-05	FT	21	0	0	0	0	0	13	0	0	1	0
57	TON I	5-févr.-06	JE	0	25	85	3	5	0	0	0	1	1	0
58	TON I	10-mars-06	FT	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
59	UAM	15-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0
60	UAM	29-mai-05	SA	1	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0

ID	Sta	Date	Meth	Asp	Bul	Car	Pot	Thr	Ade	Cae	Clo	Cen	Bae	Afr	Ela
1	ABA	17-juin-04	SA	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	ABA	17-févr.-05	JE	0	0	8	0	0	0	47	0	0	0	0	0
3	ABA	27-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	ABA	29-mai-05	FT	8	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	ABA	18-juin-05	FT	5	0	13	0	7	0	66	0	0	0	0	0
6	ABA	7-févr.-06	JE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	ABA	12Mars2006	FT	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	BRA	17-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	BRA	17-févr.-05	JE	0	0	2	0	1	0	18	0	1	0	0	0
10	BRA	26-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	BRA	29-mai-05	FT	22	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
12	BRA	15-juin-05	FT	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	BRA	7-févr.-06	JE	0	0	0	0	0	0	11	1	0	0	0	0
14	BRA	13-mars-06	FT	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	ENI	18-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	ENI	18-févr.-05	JE	0	0	3	0	3	0	16	0	0	0	0	0
17	ENI	26-mai-05	SA	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
18	ENI	29-mai-05	FT	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	ENI	15-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	ENI	9-févr.-06	JE	0	0	4	0	0	0	25	0	0	0	0	0
21	ENI	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	GH	19-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	GH	16-févr.-05	JE	0	0	13	0	0	0	9	0	0	0	0	0
24	GH	28-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	GH	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	GH	18-juin-05	FT	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	GH	6-févr.-06	JE	0	0	59	0	16	0	93	9	0	0	0	0
28	GH	11-mars-06	FT	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	HNN	15-juin-04	SA	28	0	0	2	2	80	234	0	0	0	6	0
30	HNN	29-mai-05	SA	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	MES	20-juin-04	SA	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	MES	27-mai-05	SA	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	MES	29-mai-05	FT	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	MES	17-févr.-05	JE	0	0	13	0	0	0	80	0	0	0	0	0
35	MES	18-juin-05	FT	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	MES	7-févr.-06	JE	0	0	23	0	2	0	147	2	0	0	0	0
37	MES	12-mars-06	FT	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	SA 2	18-juin-04	SA	0	0	0	0	0	125	54	0	10	0	1	0
39	SA 2	18-févr.-05	JE	0	0	17	0	0	0	108	0	0	0	0	0
40	SA 2	26-mai-05	SA	0	0	0	0	2	0	21	0	0	0	0	17
41	SA 2	29-mai-05	FT	0	0	0	0	91	0	108	0	0	0	0	2
42	SA 2	15-juin-05	FT	0	0	0	0	72	0	19	0	0	0	0	3
43	SA 2	9-févr.-06	JE	0	0	14	0	19	0	88	7	0	0	0	0
44	SA 2	13-mars-06	FT	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	TAN	19-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	TAN	16-févr.-05	JE	0	0	10	0	5	0	120	0	0	0	0	0
47	TAN	27-mai-05	FT	4	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	TAN	28-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	TAN	22-juin-05	FT	1	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	TAN	6-févr.-06	JE	0	0	46	0	1	0	31	0	0	0	0	0
51	TAN	11-mars-06	FT	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	TON I	15-juin-04	SA	0	0	4	0	474	0	78	0	2	10	14	0
53	TON I	15-févr.-05	JE	0	0	367	0	10	0	179	0	0	0	0	0
54	TON I	27-mai-05	FT	0	0	0	2	30	0	6	0	2	0	1	0
55	TON I	30-mai-05	SA	2	0	5	0	103	1	42	0	2	0	18	18
56	TON I	23-juin-05	FT	1	0	2	1	22	0	43	0	4	0	0	7
57	TON I	5-févr.-06	JE	3	0	14	0	1	0	14	0	0	0	0	0
58	TON I	10-mars-06	FT	0	0	1	0	6	0	1	2	0	0	0	0
59	UAM	15-juin-04	SA	10	0	3	0	30	0	25	0	0	0	0	4
60	UAM	29-mai-05	SA	6	0	7	1	20	0	22	0	0	0	0	6

ID	Sta	Date	Meth	Eph	Npe	Ict	Phy	Pse	Isc	Lib	Cor	Agr	Meu	Nau	Ani
1	ABA	17-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
2	ABA	17-févr.-05	JE	0	0	0	0	15	4	17	0	0	2	5	0
3	ABA	27-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	ABA	29-mai-05	FT	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
5	ABA	18-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ABA	7-févr.-06	JE	0	0	0	0	7	4	29	0	0	5	6	0
7	ABA	12Mars2006	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	BRA	17-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	BRA	17-févr.-05	JE	2	0	0	0	15	0	27	0	0	8	5	0
10	BRA	26-mai-05	SA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
11	BRA	29-mai-05	FT	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	BRA	15-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	BRA	7-févr.-06	JE	0	0	0	0	2	0	27	0	0	0	1	0
14	BRA	13-mars-06	FT	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15	ENI	18-juin-04	SA	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0
16	ENI	18-févr.-05	JE	0	0	0	0	11	0	76	0	0	4	1	0
17	ENI	26-mai-05	SA	0	0	0	1	0	0	3	0	0	30	0	0
18	ENI	29-mai-05	FT	0	0	0	1	0	0	1	0	0	11	0	1
19	ENI	15-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0
20	ENI	9-févr.-06	JE	0	0	0	0	12	0	50	0	0	4	8	0
21	ENI	13-mars-06	FT	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
22	GH	19-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	GH	16-févr.-05	JE	0	0	2	0	18	3	21	0	0	5	2	0
24	GH	28-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	4	0	0	5	0	0
25	GH	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	7	0	0	3	0	0
26	GH	18-juin-05	FT	0	0	0	3	0	0	24	0	0	3	0	0
27	GH	6-févr.-06	JE	0	0	1	0	30	3	45	0	0	25	1	0
28	GH	11-mars-06	FT	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	HNN	15-juin-04	SA	0	0	4	12	4	0	6	2	4	0	0	0
30	HNN	29-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	MES	20-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	MES	27-mai-05	SA	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
33	MES	29-mai-05	FT	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	1	0
34	MES	17-févr.-05	JE	0	0	0	0	7	0	25	0	0	4	3	0
35	MES	18-juin-05	FT	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	1	0
36	MES	7-févr.-06	JE	0	0	2	0	15	0	55	0	0	5	5	0
37	MES	12-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	SA 2	18-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	SA 2	18-févr.-05	JE	0	0	0	0	14	0	98	0	0	7	4	0
40	SA 2	26-mai-05	SA	0	0	0	3	0	0	4	0	0	45	0	0
41	SA 2	29-mai-05	FT	0	0	0	0	5	0	3	0	0	0	0	0
42	SA 2	15-juin-05	FT	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0
43	SA 2	9-févr.-06	JE	0	0	5	0	17	1	103	0	0	7	3	0
44	SA 2	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
45	TAN	19-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	TAN	16-févr.-05	JE	0	0	11	0	6	6	8	0	0	1	1	0
47	TAN	27-mai-05	FT	0	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0
48	TAN	28-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	TAN	22-juin-05	FT	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
50	TAN	6-févr.-06	JE	0	0	1	0	23	1	80	0	0	1	0	0
51	TAN	11-mars-06	FT	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
52	TON 1	15-juin-04	SA	80	0	8	0	22	0	2	0	0	0	0	0
53	TON 1	15-févr.-05	JE	0	0	7	0	10	7	23	0	0	20	20	0
54	TON 1	27-mai-05	FT	0	1	0	1	9	0	1	0	0	0	0	0
55	TON 1	30-mai-05	SA	1	0	1	0	5	0	1	0	0	4	0	0
56	TON 1	23-juin-05	FT	3	0	0	2	7	0	1	0	0	5	0	0
57	TON 1	5-févr.-06	JE	0	0	2	0	12	12	25	0	0	3	1	1
58	TON 1	10-mars-06	FT	0	0	0	3	2	0	2	0	0	0	0	0
59	UAM	15-juin-04	SA	0	12	0	0	7	2	0	0	0	0	0	0
60	UAM	29-mai-05	SA	0	0	7	1	8	0	5	0	0	0	0	0

ID	Sta	Date	Meth	Hco	Ple	Hme	Mes	Ran	Not	Rha	Pyr	Ste	Hel	Rhan	Can
1	ABA	17-juin-04	SA	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0
2	ABA	17-févr.-05	JE	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12	93
3	ABA	27-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0
4	ABA	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	ABA	18-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ABA	7-févr.-06	JE	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	170
7	ABA	12Mars2006	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	BRA	17-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	BRA	17-févr.-05	JE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	15
10	BRA	26-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	BRA	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
12	BRA	15-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	BRA	7-févr.-06	JE	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	176
14	BRA	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	ENI	18-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	ENI	18-févr.-05	JE	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	6	60
17	ENI	26-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
18	ENI	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	ENI	15-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	ENI	9-févr.-06	JE	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	567
21	ENI	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	GH	19-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	GH	16-févr.-05	JE	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	8
24	GH	28-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	GH	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	GH	18-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	GH	6-févr.-06	JE	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	10	23
28	GH	11-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	HNN	15-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
30	HNN	29-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	MES	20-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	MES	27-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	MES	29-mai-05	FT	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
34	MES	17-févr.-05	JE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	30
35	MES	18-juin-05	FT	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
36	MES	7-févr.-06	JE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	39
37	MES	12-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	SA 2	18-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	SA 2	18-févr.-05	JE	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	2	28
40	SA 2	26-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	SA 2	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
42	SA 2	15-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	SA 2	9-févr.-06	JE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	42
44	SA 2	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
45	TAN	19-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	TAN	16-févr.-05	JE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	12
47	TAN	27-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
48	TAN	28-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	TAN	22-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	TAN	6-févr.-06	JE	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	17	107
51	TAN	11-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	TON I	15-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2
53	TON I	15-févr.-05	JE	0	0	0	0	2	10	1	4	1	6	50	909
54	TON I	27-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	TON I	30-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
56	TON I	23-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57	TON I	5-févr.-06	JE	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	49
58	TON I	10-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	UAM	15-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	UAM	29-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ID	Sta	Date	Meth	Gyr	Hyd	Amp	Eno	Neo	Spe	Cur	Dip	Ec	Mac	Syr	Tip
1	ABA	17-juin-04	SA	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	10	42
2	ABA	17-févr.-05	JE	0	7	0	0	11	0	0	0	5	0	0	0
3	ABA	27-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0
4	ABA	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	ABA	18-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ABA	7-févr.-06	JE	0	6	0	0	17	0	0	3	7	0	2	2
7	ABA	12Mars2006	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	BRA	17-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
9	BRA	17-févr.-05	JE	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
10	BRA	26-mai-05	SA	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5	0
11	BRA	29-mai-05	FT	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0
12	BRA	15-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	BRA	7-févr.-06	JE	0	0	8	0	3	0	0	1	0	0	0	0
14	BRA	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	ENI	18-juin-04	SA	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	7	1
16	ENI	18-févr.-05	JE	0	2	0	0	15	0	0	0	5	0	0	0
17	ENI	26-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	ENI	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	ENI	15-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	ENI	9-févr.-06	JE	0	3	17	0	15	0	0	3	0	0	0	0
21	ENI	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	GH	19-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	GH	16-févr.-05	JE	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	1
24	GH	28-mai-05	SA	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
25	GH	29-mai-05	FT	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
26	GH	18-juin-05	FT	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
27	GH	6-févr.-06	JE	0	5	0	0	3	0	1	1	3	0	0	0
28	GH	11-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	HNN	15-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0
30	HNN	29-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	MES	20-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	MES	27-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	MES	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	MES	17-févr.-05	JE	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0
35	MES	18-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	MES	7-févr.-06	JE	0	0	0	0	5	0	0	9	11	0	0	0
37	MES	12-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	SA 2	18-juin-04	SA	0	0	0	0	0	1	0	0	6	0	0	0
39	SA 2	18-févr.-05	JE	0	5	0	0	4	0	0	0	8	0	0	0
40	SA 2	26-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	SA 2	29-mai-05	FT	0	1	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0
42	SA 2	15-juin-05	FT	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
43	SA 2	9-févr.-06	JE	0	11	0	0	11	0	0	2	14	0	1	0
44	SA 2	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	TAN	19-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	TAN	16-févr.-05	JE	0	5	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0
47	TAN	27-mai-05	FT	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
48	TAN	28-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	TAN	22-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	TAN	6-févr.-06	JE	0	0	0	0	9	0	1	0	3	0	3	0
51	TAN	11-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	TON I	15-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	72	0	0	0
53	TON I	15-févr.-05	JE	1	11	0	0	24	0	0	0	11	13	0	0
54	TON I	27-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	TON I	30-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0
56	TON I	23-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0
57	TON I	5-févr.-06	JE	0	3	0	0	10	0	1	1	14	0	0	0
58	TON I	10-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0
59	UAM	15-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	79	0	0	0	0
60	UAM	29-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0

ID	Sta	Date	Meth	Tab	Cer	Man	Psy	Chip	Mchi	Pchi	Cryp1	Cryp	Cryp2	Xchi
1	ABA	17-juin-04	SA	49	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	ABA	17-févr.-05	JE	4	6	2	6	1064	0	0	0	0	0	0
3	ABA	27-mai-05	SA	368	85	40	0	9	0	0	0	0	0	0
4	ABA	29-mai-05	FT	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
5	ABA	18-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ABA	7-févr.-06	JE	9	9	2	0	367	1	0	0	0	1	0
7	ABA	12Mars2006	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	BRA	17-juin-04	SA	0	0	0	0	105	0	0	0	0	0	0
9	BRA	17-févr.-05	JE	1	1	2	0	20	2	0	0	0	0	0
10	BRA	26-mai-05	SA	2	6	0	0	105	0	0	0	0	0	0
11	BRA	29-mai-05	FT	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
12	BRA	15-juin-05	FT	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0
13	BRA	7-févr.-06	JE	0	3	0	0	5	1	0	0	0	0	0
14	BRA	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	ENI	18-juin-04	SA	0	0	0	0	168	7	0	0	0	0	0
16	ENI	18-févr.-05	JE	4	3	1	0	22	1	0	0	0	0	0
17	ENI	26-mai-05	SA	0	109	0	0	813	34	0	0	0	0	0
18	ENI	29-mai-05	FT	0	35	0	0	110	5	0	0	0	0	0
19	ENI	15-juin-05	FT	0	29	0	0	270	11	0	0	0	0	0
20	ENI	9-févr.-06	JE	6	4	1	0	42	2	0	0	0	0	0
21	ENI	13-mars-06	FT	0	0	0	0	15	1	0	0	0	0	0
22	GH	19-juin-04	SA	0	10	0	0	523	423	0	0	0	0	0
23	GH	16-févr.-05	JE	0	0	0	0	46	15	0	0	0	0	0
24	GH	28-mai-05	SA	0	33	0	0	523	423	0	0	0	0	0
25	GH	29-mai-05	FT	0	46	0	0	780	246	0	0	0	0	0
26	GH	18-juin-05	FT	0	38	0	0	1078	339	0	0	0	0	0
27	GH	6-févr.-06	JE	1	3	0	0	40	13	0	0	0	0	0
28	GH	11-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	HNN	15-juin-04	SA	0	0	0	0	279	57	10	0	0	0	0
30	HNN	29-mai-05	SA	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0
31	MES	20-juin-04	SA	0	0	0	0	26	21	0	0	0	0	0
32	MES	27-mai-05	SA	0	0	0	0	26	21	0	0	0	0	0
33	MES	29-mai-05	FT	1	0	0	0	22	7	0	0	0	0	0
34	MES	17-févr.-05	JE	0	0	0	0	9	3	0	0	0	0	0
35	MES	18-juin-05	FT	1	0	0	0	35	11	0	0	0	0	0
36	MES	7-févr.-06	JE	3	1	0	0	9	3	0	0	0	0	0
37	MES	12-mars-06	FT	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
38	SA 2	18-juin-04	SA	0	0	0	0	1	6	0	0	0	1	0
39	SA 2	18-févr.-05	JE	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
40	SA 2	26-mai-05	SA	0	21	0	0	35	250	0	0	0	43	0
41	SA 2	29-mai-05	FT	0	2	0	0	3	19	0	0	0	4	0
42	SA 2	15-juin-05	FT	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0
43	SA 2	9-févr.-06	JE	14	2	0	0	0	13	0	0	0	0	0
44	SA 2	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
45	TAN	19-juin-04	SA	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
46	TAN	16-févr.-05	JE	0	3	0	0	64	20	0	0	0	0	0
47	TAN	27-mai-05	FT	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
48	TAN	28-mai-05	SA	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
49	TAN	22-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	TAN	6-févr.-06	JE	2	3	0	0	55	17	0	0	0	0	0
51	TAN	11-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	TON 1	15-juin-04	SA	0	2	0	0	0	8	0	0	0	0	0
53	TON 1	15-févr.-05	JE	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	TON 1	27-mai-05	FT	0	7	0	0	0	2	0	5	2	0	10
55	TON 1	30-mai-05	SA	0	4	0	0	0	72	0	0	0	0	0
56	TON 1	23-juin-05	FT	0	4	0	0	0	3	0	9	5	1	5
57	TON 1	5-févr.-06	JE	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	TON 1	10-mars-06	FT	0	2	0	0	0	1	0	3	2	0	3
59	UAM	15-juin-04	SA	0	0	0	0	7	7	0	11	0	14	0
60	UAM	29-mai-05	SA	0	0	0	0	7	7	0	11	0	14	0

ID	Sta	Date	Meth	Chir1	Chir2	Glyp	Pol1	Pol2	Abla	Mpel	Cli	Proc	Dier	Nil	Tan	Orth
1	ABA	17-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	ABA	17-févr.-05	JE	0	0	1	53	204	1	3	0	0	0	0	0	0
3	ABA	27-mai-05	SA	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
4	ABA	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	ABA	18-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ABA	7-févr.-06	JE	0	3	0	72	516	0	3	0	0	0	0	0	0
7	ABA	12Mars2006	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	BRA	17-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	BRA	17-févr.-05	JE	2	0	0	57	13	2	0	0	0	0	0	4	0
10	BRA	26-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	BRA	29-mai-05	FT	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	BRA	15-juin-05	FT	1	0	0	3	0	3	1	0	0	0	0	0	0
13	BRA	7-févr.-06	JE	1	0	0	13	3	1	0	0	0	0	0	1	0
14	BRA	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	ENI	18-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	ENI	18-févr.-05	JE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	ENI	26-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	ENI	29-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	ENI	15-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	ENI	9-févr.-06	JE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	ENI	13-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	GH	19-juin-04	SA	0	22	30	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
23	GH	16-févr.-05	JE	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	GH	28-mai-05	SA	0	22	30	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
25	GH	29-mai-05	FT	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	GH	18-juin-05	FT	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	GH	6-févr.-06	JE	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	GH	11-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	HNN	15-juin-04	SA	37	2	0	39	0	2	0	0	0	2	0	0	0
30	HNN	29-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	MES	20-juin-04	SA	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	MES	27-mai-05	SA	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	MES	29-mai-05	FT	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	MES	17-févr.-05	JE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	MES	18-juin-05	FT	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	MES	7-févr.-06	JE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	MES	12-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	SA 2	18-juin-04	SA	10	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0
39	SA 2	18-févr.-05	JE	0	0	0	4	0	4	6	0	0	0	0	1	0
40	SA 2	26-mai-05	SA	423	0	0	155	0	9	0	0	0	0	0	52	0
41	SA 2	29-mai-05	FT	33	0	0	12	0	1	0	0	0	0	0	5	0
42	SA 2	15-juin-05	FT	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	SA 2	9-févr.-06	JE	0	0	0	13	0	13	20	0	0	0	0	3	0
44	SA 2	13-mars-06	FT	0	0	0	3	0	3	4	0	0	0	0	1	0
45	TAN	19-juin-04	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	TAN	16-févr.-05	JE	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	TAN	27-mai-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	TAN	28-mai-05	SA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	TAN	22-juin-05	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	TAN	6-févr.-06	JE	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	TAN	11-mars-06	FT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	TON 1	15-juin-04	SA	4	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	2	1
53	TON 1	15-févr.-05	JE	0	0	0	0	0	2	7	2	0	0	0	0	0
54	TON 1	27-mai-05	FT	11	0	0	5	0	0	1	1	2	0	3	0	0
55	TON 1	30-mai-05	SA	35	0	0	16	23	21	16	0	0	0	0	14	0
56	TON 1	23-juin-05	FT	20	0	1	10	0	0	0	0	0	0	5	0	0
57	TON 1	5-févr.-06	JE	0	0	0	0	0	1	5	1	0	0	0	0	0
58	TON 1	10-mars-06	FT	6	0	0	3	0	0	0	1	0	0	2	0	0
59	UAM	15-juin-04	SA	7	5	0	9	0	7	9	0	0	2	2	0	0
60	UAM	29-mai-05	SA	7	5	0	9	0	7	9	0	0	2	2	0	0

Annexe 5.1 : Variance cumulée des macroinvertébrés sur les quatre premiers axes de l'ACC (technique du filet troubleau).

Taxons	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	% Expliqué
Nem	0,0341	0,2198	0,4251	0,7745	81,6
Pil	0,0049	0,4124	0,4718	0,5279	79,52
Sph	0,1346	0,3473	0,4211	0,4458	48,73
Mel	0,7509	0,7511	0,7747	0,7806	79,84
Lym	0,6842	0,7608	0,7608	0,7679	80,56
Asp	0,3012	0,336	0,5733	0,5956	73,12
Car	0,5835	0,687	0,7078	0,7155	71,82
Pot	0,1054	0,1624	0,5552	0,7983	79,83
Thr	0,252	0,6425	0,6438	0,6574	65,74
Cae	0,1647	0,6433	0,6433	0,646	64,91
Cen	0,2087	0,3097	0,5367	0,8971	89,9
Afr	0,0123	0,0225	0,4554	0,5287	53,07
Ela	0,4271	0,6858	0,7075	0,7141	73,3
Eph	0,2299	0,3275	0,3283	0,5999	60,88
Npe	0,0123	0,0225	0,4554	0,5287	53,07
Phy	0,3127	0,3197	0,4082	0,4082	41,26
Pse	0,3685	0,6266	0,7631	0,7686	77,92
Lib	0,0787	0,3179	0,3486	0,356	63,99
Meu	0,2274	0,6507	0,6674	0,6707	77,43
Nau	0,0402	0,0469	0,0875	0,1194	13,14
Ani	0,009	0,0339	0,051	0,0794	17,38
Hco	0,0318	0,0382	0,0707	0,0936	10,16
Can	0,0067	0,0975	0,1522	0,3672	37,43
Hyd	0,1187	0,2074	0,2414	0,4806	48,32
Eno	0,0899	0,21	0,2394	0,5107	53,83
Neo	0,0421	0,0811	0,2672	0,2727	31,19
Ec	0,2509	0,3718	0,3813	0,3818	38,46
Mac	0,352	0,5684	0,5724	0,6143	64,41
Syr	0,0102	0,0102	0,1815	0,2147	31,44
Tab	0,0402	0,0469	0,0875	0,1194	13,14
Cer	0,2637	0,8317	0,8729	0,8805	89,99
Chir	0,2201	0,6747	0,6747	0,7058	71,24

Annexe 5.2 : Variance cumulée des macroinvertébrés sur les quatre premiers axes de l'ACC (technique des substrats artificiels).

Taxons	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	% Expliqué
Nem	0,0404	0,2287	0,2291	0,3119	22,87
Hir1	0,0018	0,0282	0,1299	0,4066	2,82
Pil	0,0583	0,101	0,5777	0,6689	10,1
Sph	0,0007	0,2395	0,2406	0,2408	23,95
Bur	0,0058	0,0064	0,0069	0,0072	0,64
Mel	0,0028	0,2151	0,9018	0,9419	21,51
Asp	0,0636	0,1355	0,1366	0,1367	13,55
Bul	0,3856	0,3888	0,3908	0,3924	38,88
Car	0,2175	0,3689	0,5635	0,6146	36,89
Pot	0,0141	0,0452	0,0686	0,2349	4,52
Thr	0,1901	0,244	0,5388	0,5447	24,4
Ade	0,007	0,0108	0,0632	0,364	1,08
Cae	0,1903	0,1932	0,5265	0,7069	19,32
Cen	0,0199	0,0249	0,1541	0,3201	2,49
Bae	0,0139	0,014	0,125	0,1339	1,4
Afr	0,0947	0,0964	0,3542	0,4217	9,64
Ela	0,1175	0,1213	0,1865	0,198	12,13
Eph	0,0139	0,014	0,125	0,1339	1,4
Npe	0,0329	0,0362	0,0377	0,1556	3,62
Ict	0,1229	0,1792	0,3728	0,3835	17,92
Phy	0,0027	0,3267	0,3273	0,4124	32,67
Pse	0,2077	0,2617	0,4918	0,581	26,17
Isc	0,0329	0,0362	0,0377	0,1556	3,62
Lib	0,0387	0,2466	0,2871	0,3286	24,66
Cor	0,0141	0,0452	0,0686	0,2349	4,52
Agr	0,0141	0,0452	0,0686	0,2349	4,52
Meu	0,0208	0,3084	0,3167	0,4643	30,84
Hme	0,3856	0,3888	0,3908	0,3924	38,88
Mes	0,3856	0,3888	0,3908	0,3924	38,88
Ste	0,3427	0,459	0,5076	0,5238	45,9
Hel	0,0141	0,0452	0,0686	0,2349	4,52
Rhan	0,0317	0,0503	0,1901	0,3241	5,03
Can	0,0676	0,0792	0,2868	0,2966	7,92
Neo	0,3704	0,421	0,4293	0,4361	42,1
Spe	0,001	0,001	0,005	0,2618	0,1
Dip	0,0329	0,0362	0,0377	0,1556	3,62
Ec	0,1197	0,1244	0,5038	0,7184	12,44
Syr	0,2595	0,2611	0,2647	0,5105	26,11
Tip	0,3591	0,362	0,3657	0,3946	36,2
Tab	0,7119	0,7682	0,7934	0,7991	76,82
Cer	0,3896	0,4113	0,4144	0,4569	41,13
Man	0,3427	0,459	0,5076	0,5238	45,9
Chir	0,0004	0,053	0,075	0,4989	5,3

Annexe 5.3 : Variance cumulée des Chironomidae sur les quatre premiers axes de l'ACC (technique du filet troubleau).

Taxons	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	% Expliqué
Chip	0,7192	0,7343	0,7525	0,7778	82,39
Mchi	0,7944	0,8025	0,8295	0,8607	86,4
Cryp 1	0,7556	0,9707	0,9711	0,978	98,93
Ccry p	0,7385	0,9218	0,922	0,9382	97,28
Cryp 2	0,1492	0,5012	0,7213	0,811	81,35
Xchi	0,6959	0,9616	0,97	0,9706	97,84
Chir 1	0,5927	0,7594	0,8087	0,8198	82,64
Glyp	0,316	0,4242	0,5602	0,7746	98,2
Pol1	0,6624	0,9369	0,9397	0,9398	94,31
Pol2	0,0513	0,0548	0,1801	0,534	60,99
Abla	0,0185	0,5186	0,8342	0,9238	95,66
Mpel	0,1483	0,169	0,7257	0,9366	94,11
Cli	0,2672	0,4841	0,5279	0,5818	78,1
Proc	0,2672	0,4841	0,5279	0,5818	78,1
Nil	0,7555	0,9699	0,9702	0,9773	98,9
Tan	0,0221	0,4759	0,6511	0,6864	70,9

Annexe 5.4 : Variance cumulée des Chironomidae sur les quatre premiers axes de l'ACC (technique des substrats artificiels).

Taxons	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	% Expliqué
Chip	0,4578	0,5994	0,6242	0,634	62,42
Mchi	0,0258	0,2132	0,2592	0,4108	25,92
Pchi	0,0298	0,0719	0,0776	0,0876	7,76
Cryp 1	0,248	0,3537	0,4431	0,9182	44,31
Cryp 2	0,4685	0,47	0,5435	0,8729	54,35
Chir 1	0,4337	0,4814	0,5356	0,6534	53,56
Chir 2	0,1932	0,4033	0,4975	0,6907	49,75
Glyp	0,3209	0,5895	0,6157	0,649	61,57
Pol1	0,3432	0,3914	0,4374	0,4495	43,74
Pol2	0,0008	0,016	0,0847	0,4873	8,47
Dicr	0,128	0,1608	0,261	0,5905	26,1
Nil	0,248	0,3537	0,4431	0,9182	44,31
Abla	0,4893	0,5172	0,5351	0,5912	53,51
Mpel	0,2812	0,4071	0,5965	0,5993	59,65
Tan	0,1971	0,2249	0,3897	0,5593	38,97

