

Huitième article : **Effect of drying on the diversity of benthic macroinvertebrates in tributary streams of the Sota river in North-Eastern Bénin**

Par : Z. Orou Piami, H. Akodogbo, M. P. Gnohossou, K. S. Abahi et H. S. Sanni Worogo

Pages (pp.) 105-116.

Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) – *Septembre 2022* – Volume 32 - Numéro 02

Le BRAB est en ligne (on line) sur le site web <http://www.slire.net> et peut être aussi consulté sur le site web de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) <http://www.inrab.org>

ISSN imprimé (print ISSN) : 1025-2355 et ISSN électronique (on line ISSN) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin



**Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)**

**Direction Scientifique (DS) - Service Animation Scientifique (SAS)**

01 BP 884 Recette Principale, Cotonou 01 - République du Bénin

Tél. : (+229) 21 30 02 64 ; E-mail : [sp.inrab@inrab.org](mailto:sp.inrab@inrab.org) / [inrabdg1@yahoo.fr](mailto:inrabdg1@yahoo.fr) / [brabpisbinrab@gmail.com](mailto:brabpisbinrab@gmail.com)

La rédaction et la publication du bulletin de la recherche agronomique du Bénin (BRAB)  
de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

01 B.P. 884 Recette Principale, Cotonou 01

Tél. : (+229) 21 30 02 64 - E-mail : [brabpisbinrab@gmail.com](mailto:brabpisbinrab@gmail.com)

République du Bénin

## Sommaire

Sommaire	i
Informations générales	ii
Indications aux auteurs	iii
Outils de gestion des risques de production et de commercialisation dans les exploitations de maïs au Nord-Bénin <b>E. K. Agossadou, F. Tassou Zakari, M. D. Dohou et J. A. Yabi</b>	1
Impacts of use of conventional tillage tools on cultivated soil in Southern Alibori in Benin <b>N. M. Dahou, B. K. L. Zokpodo, B. E. Lokonon, E. D. Dayou and M. Donou Hounsodé</b>	12
Caractérisation et diversité des systèmes d'élevage de petits ruminants au Bénin <b>M. A. M. Zanou, A. K. N. Aoudji, L. H. Dossa, D. Demblon et M. R. B. Houinato</b>	23
Fragmentation des habitats et conservation des grands mammifères dans les forêts soudaniennes : Synthèse bibliographique sur l'implication pour la gestion des écosystèmes de la Forêt Classée des Trois rivières au Nord-Est-Bénin <b>J. Kpétééré, R. S. Lokossou, M. Kouagou, A. K. Natta et I. I. Toko</b>	42
Diversité, priorité culturelle et de conservation des espèces forestières anciennement domestiquées (EFAD) du Sud-Bénin <b>M. M. L. Atindéhou, A. F. Azihou, G. H. Dassou, M. S. Toyi, A. C. Adomou, A. E. Assogbadjo, D. N'Dah et B. A. Sinsin</b>	57
Chaînes de distribution de la viande bovine et des petits ruminants dans le Département du Littoral et ses environs au Sud-Bénin <b>C. F. A. Salifou, K. A. I. Gade, S. G. Ahounou, S. P. Kiki, F.E.T. Houessou, C. Claude et I. Youssao Abdou-Karim</b>	80
Modélisation des aires favorables à <i>Newbouldia laevis</i> (P. Beauv.) Seemann ex Bureau et au <i>Dracaena arborea</i> (Willd) Link, au Bénin <b>J. Logbo, P. Yédomonhan, B. Tenté et A. Akoegninou</b>	88
Effect of drying on the diversity of benthic macroinvertebrates in tributary streams of the Sota river in North-Eastern Benin <b>Z. Orou Piami, H. Akodogbo, M. P. Gnohossou, K. S. Abahi et H. S. Sanni Worogo</b>	105

ISSN imprimé (print ISSN) : 1025-2355 et ISSN électronique (on line ISSN) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin

## Informations générales

Le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) édité par l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) est un organe de publication créé en mai 1991 pour offrir aux chercheurs béninois et étrangers un cadre pour la diffusion des résultats de leurs travaux de recherche. Il accepte des articles originaux de recherche et de synthèse, des contributions scientifiques, des articles de revue, des notes et fiches techniques, des études de cas, des résumés de thèse, des analyses bibliographiques, des revues de livres et des rapports de conférence relatifs à tous les domaines de l'agronomie et des sciences apparentées, ainsi qu'à toutes les disciplines du développement rural. La publication du Bulletin est assurée par un comité de rédaction et de publication appuyés par un conseil scientifique qui réceptionne les articles et décide de l'opportunité de leur parution. Ce comité de rédaction et de publication est appuyé par des comités de lecture qui sont chargés d'apprécier le contenu technique des articles et de faire des suggestions aux auteurs afin d'assurer un niveau scientifique adéquat aux articles. La composition du comité de lecture dépend du sujet abordé par l'article proposé. Rédigés en français ou en anglais, les articles doivent être assez informatifs avec un résumé présenté dans les deux langues, dans un style clair et concis. Une note d'indications aux auteurs est disponible dans chaque numéro et peut être obtenue sur demande adressée au secrétariat du BRAB. Pour recevoir la version électronique pdf du BRAB, il suffit de remplir la fiche d'abonnement et de l'envoyer au comité de rédaction avec les frais d'abonnement. La fiche d'abonnement peut être obtenue à la Direction Générale de l'INRAB, dans ses Centres de Recherches Agricoles ou à la page vii de tous les numéros. Le BRAB publie par an normalement deux (02) numéros en juin et décembre mais quelquefois quatre (04) numéros en mars, juin, septembre et décembre et aussi des numéros spéciaux mis en ligne sur le site web : <http://www.slire.net>. Un thesaurus spécifique dénommé « TropicAgrif » (Tropical Agriculture and Forestry) a été développé pour caractériser les articles parus dans le BRAB et servir d'autres revues africaines du même genre. Pour les auteurs, une contribution de cinquante mille (50.000) Francs CFA est demandée par article soumis et accepté pour publication. L'auteur principal reçoit la version électronique pdf du numéro du BRAB contenant son article.

Comité de Rédaction et de Publication du Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin - 01 BP 884 Recette  
Principale - Cotonou 01 – Tél.: (+229) 21 30 02 64 - E-mail: [brabpbinrab@gmail.com](mailto:brabpbinrab@gmail.com) – République du Bénin

**Éditeur :** Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

**Comité de Rédaction et de Publication :** -i- **Directeur de rédaction et de publication :** Directeur Général de l'INRAB ; -ii- **Rédacteur en chef :** Directeur Scientifique de l'INRAB ; -iii- **Secrétaire documentaliste :** Documentaliste archiviste de l'INRAB ; -iv- **Maquettiste :** Analyste programmeur de l'INRAB ; -v- **Opérateur de mise en ligne :** Dr Ir Sètchéme Charles Bertrand POMALEGNI, Maître de recherche ; -vi- **Membres :** Dr Ir Guy Apollinaire MENSAH, Directeur de Recherche, Dr Ir Angelo Cocou DJIHINTO, Maître de Recherche, Dr Ir Rachida SIKIROU, Directeur de Recherche, Dr Ir Nestor R. AHOYO ADJOVI, Directeur de Recherche et Dr Ir Alex Gbéliho ZOFFOUN, Directeur de Recherche.

**Conseil Scientifique :** Membres du Conseil Scientifique de l'INRAB, Pr Dr Ir Brice A. SINSIN (Écologie, Foresterie, Faune, PFNL, Bénin), Pr Dr Michel BOKO (Climatologie, Bénin), Pr Dr Ir Joseph D. HOUNHOUIGAN (Sciences et biotechnologies alimentaires, Bénin), Pr Dr Ir Abdourahmane BALLA (Sciences et biotechnologies alimentaires, Niger), Pr Dr Ir Kakai Romain GLELE (Biométrie et Statistiques, Bénin), Pr Dr Agathe FANTODJI (Biologie de la reproduction, Elevage des espèces gibier et non gibier, Côte d'Ivoire), Pr Dr Ir Jean T. C. CODJIA (Zootechnie, Zoologie, Faune, Bénin), Pr Dr Ir Euloge K. AGBOSSOU (Hydrologie, Bénin), Pr Dr Sylvie M. HOUNZANGBE-ADOTE (Parasitologie, Physiologie, Bénin), Pr Dr Ir Jean C. GANGLO (Agro-Foresterie), Dr Ir Guy A. MENSAH (Zootechnie, Faune, Elevage des espèces gibier et non gibier, Bénin), Pr Dr Moussa BARAGÉ (Biotechnologies végétales, Niger), Pr Dr Jeanne ZOUNDJIHEKPON (Génétique, Bénin), Pr Dr Ir Gauthier BIAOU (Économie, Bénin), Pr Dr Ir Roch MONGBO (Sociologie, Anthropologie, Bénin), Dr Ir Gualbert GBEHOUNOU (Malherbologie, Protection des végétaux, Bénin), Dr Ir Attanda Mouinou IGUE (Sciences du sol, Bénin), Dr DMV. Delphin O. KOUDANDE (Génétique, Sélection et Santé Animale, Bénin), Pr Dr Ir Aimé H. BOKONON-GANTA (Agronomie, Entomologie, Bénin), Pr Dr Ir Rigobert C. TOSSOU (Sociologie, Bénin), Dr Ir Anne FLOQUET (Économie, Allemagne), Dr Ir André KATARY (Entomologie, Bénin), Dr Ir Hessou Anastase AZONTONDE (Sciences du sol, Bénin), Dr Ir Paul HOUSSOU (Technologies agro-alimentaires, Bénin), Dr Ir Adolphe ADJANOHOOUN (Agroforesterie, Bénin), Dr Ir Isidore T. GBEGO (Zootechnie, Bénin), Dr Ir Françoise ASSOGBA-KOMLAN (Maraîchage, Sciences du sol, Bénin), Dr Ir André B. BOYA (Pastoralisme, Agrostologie, Association Agriculture-Élevage), Dr Ir Ousmane COULIBALY (Agro-économie, Mali), Pr Dr Ir Luc O. SINTONDJI (Hydrologie, Génie Rural, Bénin), Dr Ir Vincent J. MAMA (Foresterie, SIG, Bénin)

**Comité de lecture :** Les évaluateurs (referees) sont des scientifiques choisis selon leurs domaines et spécialités.

## Indications aux auteurs

### Types de contributions et aspects généraux

Le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) accepte des articles scientifiques, des articles de synthèse, des résumés de thèse de doctorat, des analyses bibliographiques, des notes et des fiches techniques, des revues de livres, des rapports de conférences, d'ateliers et de séminaires, des articles originaux de recherche et de synthèse, puis des études de cas sur des aspects agronomiques et des sciences apparentées produits par des scientifiques béninois ou étrangers. La responsabilité du contenu des articles incombe entièrement à l'auteur et aux co-auteurs. Le BRAB publie par an normalement deux (02) numéros en juin et décembre mais quelquefois quatre (04) numéros en mars, juin, septembre et décembre et aussi des numéros spéciaux mis en ligne sur le site web : <http://www.slire.net>. Pour les auteurs, une contribution de cinquante mille (50.000) Francs CFA est demandée par article soumis et accepté pour publication. L'auteur principal reçoit la version électronique pdf du numéro du BRAB contenant son article.

### Soumission de manuscrits

Les articles doivent être envoyés par voie électronique par une lettre de soumission (*covering letter*) au comité de rédaction et de publication du BRAB aux adresses électroniques suivantes : E-mail : [brabpbinrab@gmail.com](mailto:brabpbinrab@gmail.com). Dans la lettre de soumission les auteurs doivent proposer l'auteur de correspondance ainsi que les noms et adresses (y compris les e-mails) de trois (03) experts de leur discipline ou domaine scientifique pour l'évaluation du manuscrit. Certes, le choix des évaluateurs (*referees*) revient au comité éditorial du Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin. Les manuscrits doivent être écrits en français ou en anglais, tapé/saisi sous Winword ou Word ou Word docx avec la police Arial taille 10 en interligne simple sur du papier A4 (21,0 cm x 29,7 cm). L'auteur doit fournir des fichiers électroniques des illustrations (tableaux, figures et photos) en dehors du texte. Les figures doivent être réalisées avec un logiciel pour les graphiques. Les données ayant servi à élaborer les figures seront également fournies. Les photos doivent être suffisamment contrastées. Les articles sont soumis par le comité de rédaction à des évaluateurs, spécialistes du domaine.

### Sanction du plagiat et de l'autoplagiat dans tout article soumis au BRAB pour publication

De nombreuses définitions sont données au plagiat selon les diverses sources de documentations telles que « -i- Acte de faire passer pour siens les textes ou les idées d'autrui. -ii- Consiste à copier les autres en reprenant les idées ou les résultats d'un autre chercheur sans le citer et à les publier en son nom propre. -iii- Copie frauduleuse d'une œuvre existante en partie ou dans sa totalité afin de se l'approprier sans accord préalable de l'auteur. -iv- Vol de la création originale. -v- Violation de la propriété intellectuelle d'autrui. » (<https://integrite.umontreal.ca/reglements/definitions-generales/>). Le Plagiat et l'Autoplagiat sont à bannir dans les écrits scientifiques. Par conséquent, tout article soumis pour sa publication dans le BRAB doit être préalablement soumis à une analyse de plagiat, en s'appuyant sur quelques plateformes de détection de plagiat. Le **plagiat constaté dans tout article** sera sanctionné par un retour de l'article accompagné du **rapport de vérification du plagiat par un logiciel antiplagiat** à l'auteur de correspondance pour sa correction avec **un taux de tolérance de plagiat ou de similitude inférieur ou égal à sept pour cent (07%)**.

### Respecter de certaines normes d'édition et règles de présentation et d'écriture

Pour qu'un article soit accepté par le comité de rédaction, il doit respecter certaines normes d'édition et règles de présentation et d'écriture. Ne pas oublier que les trois (3) **qualités fondamentales d'un article scientifique** sont la **précision** (supprimer les adjectifs et adverbes creux), la **clarté** (phrases courtes, mots simples, répétition des mots à éviter, phrases actives, ordre logique) et la **brièveté** (supprimer les expressions creuses). **Le temps des verbes doit être respecté**. En effet, tout ce qui est expérimental et non vérifié est rédigé au passé (passé composé et imparfait) de l'indicatif, notamment les parties *Méthodologie (Matériels et méthodes)* et *Résultats*. Tandis que tout ce qui est admis donc vérifié est rédigé au présent de l'indicatif, notamment les parties *Introduction*, avec la citation de résultats vérifiés, *Discussion* et *Conclusion*. Toutefois, en cas de doute, rédigez au passé. Pour en savoir plus sur la méthodologie de rédaction d'un article, prière consulter le document suivant : **Assogbadjo A. E., Aïhou K., Youssou A. K. I., Fovet-Rabot C., Mensah G. A., 2011. L'écriture scientifique au Bénin. Guide contextualisé de formation. Cotonou, INRAB, 60 p. ISBN : 978-99919-857-9-4 – INRAB 2011. Dépôt légal n° 5372 du 26 septembre 2011, 3<sup>ème</sup> trimestre 2011. Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin.**

## Titre

Dans le titre se retrouve l'information principale de l'article et l'objet principal de la recherche. Le titre doit contenir 6 à 10 mots (22 mots au maximum) en position forte, décrivant le contenu de l'article, assez informatifs, descriptifs, précis et concis. Un bon titre doit donner le meilleur aperçu possible de l'article en un minimum de mots. Il comporte les mots de l'index *Medicus*. Le titre est un message-réponse aux 5 W [what (quoi ?), who (qui ?), why (pourquoi ?), when (quand ?), where (où ?)] & 1 H [how (comment ?)]. Il est recommandé d'utiliser des sous-titres courts et expressifs pour subdiviser les sections longues du texte mais écrits en minuscules, sauf la première lettre et non soulignés. Toutefois, il faut éviter de multiplier les sous-titres. Le titre doit être traduit dans la seconde langue donc écrit dans les deux langues français et anglais.

## Auteur et Co-auteurs

Les initiales des prénoms en majuscules séparées par des points et le nom avec 1<sup>ère</sup> lettre écrite en majuscule de tous les auteurs (auteur & co-auteurs), sont écrits sous le titre de l'article. Immédiatement, suivent les titres académiques (Pr., Dr, MSc., MPhil. et/ou Ir.), les prénoms écrits en minuscules et le nom écrit en majuscule, puis les adresses complètes (structure, BP, e-mail, Tél. et pays) de tous les auteurs. Il ne faut retenir que les noms des membres de l'équipe ayant effectivement participé au programme de recherche et à la rédaction de l'article.

## Résumé

Un bref résumé dans la langue de l'article est précédé d'un résumé détaillé dans la seconde langue (français ou anglais selon le cas) et le titre sera traduit dans cette seconde langue. Le résumé est une compression en volume plus réduit de l'ensemble des idées développées dans un document, etc. Il contient l'essentiel en un seul paragraphe de 200 à 350 mots. Le résumé contient une **Introduction** (contexte, Objectif, etc.) rédigée avec 20% des mots, la **Méthodologie** (type d'étude, échantillonnage, variables et outils statistiques) rédigée avec 20% des mots, les **Résultats obtenus et leur courte discussion** (résultats importants et nouveaux pour la science), rédigée avec 50% des mots et une **Conclusion** (implications de l'étude en termes de généralisation et de perspectives de recherches) rédigée avec 10% des mots.

## Mots-clés

Les 3 à 5 mots et/ou groupes de mots clés les plus descriptifs de l'article suivent chaque résumé et comportent le pays (la région), la problématique ou l'espèce étudiée, la discipline ou le domaine spécifique, la méthodologie, les résultats et les perspectives de recherche. Il est conseillé de choisir d'autres mots/groupes de mots autres que ceux contenus dans le titre.

## Texte

Le texte doit être rédigé dans un langage simple et compréhensible. L'article est structuré selon la discipline scientifique et la thématique en utilisant l'un des plans suivants avec les Remerciements (si nécessaire) et Références bibliographiques : *IMReD* (Introduction, Matériel et Méthodes, Résultats, Discussion/Résultats et Conclusion) ; *ILPIA* (Introduction, Littérature, Problème, Implication, Avenir) ; *OPERA* (Observation, Problème, Expérimentation, Résultats, Action) ; *SOSRA* (Situation, Observation, Sentiments, opinion, Réflexion, Action) ; *ESPRIT/SPRIT* [Entrée en matière (introduction), Situation du problème, Problème précis, Résolution, Information appliquée ou détaillée, Terminaison (conclusion)] ; *APPROACH* (Annonce, Problématique (perutable avec Présentation), Présentation, Réactions, Opinions, Actions, Conclusions, Horizons) ; etc.

## Introduction

L'introduction c'est pour persuader le lecteur de l'importance du thème et de la justification des objectifs de recherche. Elle motive et justifie la recherche en apportant le background nécessaire, en expliquant la rationalité de l'étude et en exposant clairement l'objectif et les approches. Elle fait le point des recherches antérieures sur le sujet avec des citations et références pertinentes. Elle pose clairement la problématique avec des citations scientifiques les plus récentes et les plus pertinentes, l'hypothèse de travail, l'approche générale suivie, le principe méthodologique choisi. L'introduction annonce le(s) objectif(s) du travail ou les principaux résultats. Elle doit avoir la forme d'un entonnoir (du général au spécifique).

## Matériels et méthodes

Il faut présenter si possible selon la discipline le **milieu d'étude** ou **cadre de l'étude** et indiquer le lien entre le milieu physique et le thème. **La méthodologie d'étude** permet de baliser la discussion sur les résultats en renseignant sur la validité des réponses apportées par l'étude aux questions formulées en introduction. Il faut énoncer les méthodes sans grands détails et faire un extrait des principales utilisées. L'importance est de décrire les protocoles expérimentaux et le matériel utilisé, et de préciser la taille de l'échantillon, le dispositif expérimental, les logiciels utilisés et les analyses statistiques effectuées. Il faut donner toutes les informations permettant d'évaluer, voire de répéter l'essai, les calculs et les observations. Pour le matériel, seront indiquées toutes les caractéristiques scientifiques comme le genre, l'espèce, la variété, la classe des sols, etc., ainsi que la provenance, les quantités, le mode de préparation, etc. Pour les méthodes, on indiquera le nom des dispositifs expérimentaux et des analyses statistiques si elles sont bien connues. Les techniques peu répandues ou nouvelles doivent être décrites ou bien on en précisera les références bibliographiques. Toute modification par rapport aux protocoles courants sera naturellement indiquée.

## Résultats

Le texte, les tableaux et les figures doivent être complémentaires et non répétitifs. Les tableaux présenteront un ensemble de valeurs numériques, les figures illustrent une tendance et le texte met en évidence les données les plus significatives, les valeurs optimales, moyennes ou négatives, les corrélations, etc. On fera mention, si nécessaire, des sources d'erreur. La règle fondamentale ou règle cardinale du témoignage scientifique suivie dans la présentation des résultats est de donner tous les faits se rapportant à la question de recherche concordant ou non avec le point de vue du scientifique et d'indiquer les relations imprévues pouvant faire de l'article un sujet plus original que l'hypothèse initiale. Il ne faut jamais entremêler des descriptions méthodologiques ou des interprétations avec les résultats. Il faut indiquer toujours le niveau de signification statistique de tout résultat. Tous les aspects de l'interprétation doivent être présents. Pour l'interprétation des résultats il faut tirer les conclusions propres après l'analyse des résultats. Les résultats négatifs sont aussi intéressants en recherche que les résultats positifs. Il faut confirmer ou infirmer ici les hypothèses de recherches.

## Discussion

C'est l'établissement d'un pont entre l'interprétation des résultats et les travaux antérieurs. C'est la recherche de biais. C'est l'intégration des nouvelles connaissances tant théoriques que pratiques dans le domaine étudié et la différence de celles déjà existantes. Il faut éviter le piège de mettre trop en évidence les travaux antérieurs par rapport aux résultats propres. Les résultats obtenus doivent être interprétés en fonction des éléments indiqués en introduction (hypothèses posées, résultats des recherches antérieures, objectifs). Il faut discuter ses propres résultats et les comparer à des résultats de la littérature scientifique. En d'autres termes c'est de faire les relations avec les travaux antérieurs. Il est nécessaire de dégager les implications théoriques et pratiques, puis d'identifier les besoins futurs de recherche. Au besoin, résultats et discussion peuvent aller de pair.

## Résultats et Discussion

En optant pour **résultats et discussions** alors les deux vont de pair au fur et à mesure. Ainsi, il faut la discussion après la présentation et l'interprétation de chaque résultat. Tous les aspects de l'interprétation, du commentaire et de la discussion des résultats doivent être présents. Avec l'expérience, on y parvient assez aisément.

## Conclusion

Il faut une bonne et concise conclusion étendant les implications de l'étude et/ou les suggestions. Une conclusion fait ressortir de manière précise et succincte les faits saillants et les principaux résultats de l'article sans citation bibliographique. La conclusion fait la synthèse de l'interprétation scientifique et de l'apport original dans le champ scientifique concerné. Elle fait l'état des limites et des faiblesses de l'étude (et non celles de l'instrumentation mentionnées dans la section de méthodologie). Elle suggère d'autres avenues et études permettant d'étendre les résultats ou d'avoir des applications intéressantes ou d'obtenir de meilleurs résultats.

## Références bibliographiques

La norme Harvard et la norme Vancouver sont les deux normes internationales qui existent et régulièrement mises à jour. Il ne faut pas mélanger les normes de présentation des références bibliographiques. En ce qui concerne le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), c'est la norme Harvard qui a été choisie. Les auteurs sont responsables de l'orthographe des noms cités

dans les références bibliographiques. Dans le texte, les publications doivent être citées de la manière suivante : Sinsin (2020) ou Sinsin et Assogbadjo (2020) ou Sinsin *et al.* (2007). Sachez que « *et al.* » est mis pour *et alteri* qui signifie et autres. Il faut s'assurer que les références mentionnées dans le texte sont toutes reportées par ordre alphabétique dans la liste des références bibliographiques. Somme toute dans le BRAB, selon les ouvrages ou publications, les références sont présentées dans la liste des références bibliographiques de la manière suivante :

#### Pour les revues scientifiques :

- ✓ **Pour un seul auteur** : Yakubu, A., 2013: Characterisation of the local Muscovy duck in Nigeria and its potential for egg and meat production. *World's Poultry Science Journal*, 69(4): 931-938. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933913000937>
- ✓ **Pour deux auteurs** : Tomasz, K., Juliusz, M. K., 2004: Comparison of physical and qualitative traits of meat of two Polish conservative flocks of ducks. *Arch. Tierz., Dummerstorf*, 47(4): 367-375.
- ✓ **A partir de trois auteurs** : Vissoh, P. V., R. C. Tossou, H. Dedehouanou, H. Guibert, O. C. Codjia, S. D. Vodouhe, E. K. Agbossou, 2012 : Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements climatiques : le cas des communes d'Adjohoun et de Dangbo au Sud-Est Bénin. *Les Cahiers d'Outre-Mer N° 260*, 479-492.

#### Pour les organismes et institutions :

- ✓ FAO, 2017. L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2017 : Renforcer la résilience pour favoriser la paix et la sécurité alimentaire. Rome, FAO. 144 p.
- ✓ INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique), 2015 : Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH-4): Résultats définitifs. Direction des Etudes Démographiques, Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique, Cotonou, Bénin, 33 p.

#### Pour les contributions dans les livres :

- ✓ Whithon, B.A., Potts, M., 1982: Marine littoral: 515-542. *In*: Carr, N.G., Whithon, B.A., (eds), *The biology of cyanobacteria*. Oxford, Blackwell.
- ✓ Annerose, D., Cornaire, B., 1994 : Approche physiologique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées pour l'amélioration de la production en zones sèches: 137-150. *In* : Reyniers, F.N., Netoyo L. (eds.). *Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale*. Ed. John Libbey Eurotext. Paris.

#### Pour les livres :

- ✓ Zryd, J.P., 1988: Cultures des cellules, tissus et organes végétaux. Fondements théoriques et utilisations pratiques. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Suisse.
- ✓ Stuart, S.N., R.J. Adams, M.D. Jenkins, 1990: Biodiversity in sub-Saharan Africa and its islands. IUCN–The World Conservation Union, Gland, Switzerland.

#### Pour les communications :

- ✓ Vierada Silva, J.B., A.W. Naylor, P.J. Kramer, 1974: Some ultrastructural and enzymatic effects of water stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves. *Proceedings of Nat. Acad. Sc. USA*, 3243-3247.
- ✓ Lamachere, J.M., 1991 : Aptitude du ruissellement et de l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. Actes de l'Atelier sur Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Niamey, Niger, IAHS n° 199, 109-119.

#### Pour les abstracts :

- ✓ Takaiwa, F., Tnifuji, S., 1979: RNA synthesis in embryo axes of germination pea seeds. *Plant Cell Physiology abstracts*, 1980, 4533.

#### Thèse ou mémoire :

- ✓ Valero, M., 1987: Système de reproduction et fonctionnement des populations chez deux espèces de légumineuses du genre *Lathyrus*. PhD. Université des Sciences et Techniques, Lille, France, 310 p.

Pour les sites web : <http://www.iucnredlist.org>, consulté le 06/07/2007 à 18 h.

### Equations et formules

Les équations sont centrées, sur une seule ligne si possible. Si on s'y réfère dans le texte, un numéro d'identification est placé, entre crochets, à la fin de la ligne. Les fractions seront présentées sous la forme « 7/25 » ou « (a+b)/c ».

### Unités et conversion

Seules les unités de mesure, les symboles et équations usuels du système international (SI) comme expliqués au chapitre 23 du Mémento de l'Agronome, seront acceptés.

### Abréviations

Les abréviations internationales sont acceptées (OMS, DDT, etc.). Le développé des sigles des organisations devra être complet à la première citation avec le sigle en majuscule et entre parenthèses (FAO, RFA, IITA). Eviter les sigles reconnus localement et inconnus de la communauté scientifique. Citer complètement les organismes locaux.

### Nomenclature de pesticides, des noms d'espèces végétales et animales

Les noms commerciaux seront écrits en lettres capitales, mais la première fois, ils doivent être suivis par le(s) nom(s) communs(s) des matières actives, tel que acceptés par « International Organization for Standardization (ISO) ». En l'absence du nom ISO, le nom chimique complet devra être donné. Dans la page de la première mention, la société d'origine peut être indiquée par une note en bas de la page, p.e. PALUDRINE (Proguanil). Les noms d'espèces animales et végétales seront indiqués en latin (genre, espèce) en italique, complètement à la première occurrence, puis en abrégé (exemple : *Oryza sativa* = *O. sativa*). Les auteurs des noms scientifiques seront cités seulement la première fois que l'on écrira ce nom scientifique dans le texte.

### Tableaux, figures et illustrations

Chaque tableau (avec les colonnes rendus invisibles mais seules la première ligne et la dernière ligne sont visibles) ou figure doit avoir un titre. Les titres des tableaux seront écrits en haut de chaque tableau et ceux des figures/photographies seront écrits en bas des illustrations. Les légendes seront écrites directement sous les tableaux et autres illustrations. En ce qui concerne les illustrations (tableaux, figures et photos) seules les versions électroniques bien lisibles et claires, puis mises en extension jpeg avec haute résolution seront acceptées. Seules les illustrations dessinées à l'ordinateur et/ou scannées, puis les photographies en extension jpeg et de bonne qualité donc de haute résolution sont acceptées.

Les places des tableaux et figures dans le texte seront indiquées dans un cadre sur la marge. Les tableaux sont numérotés, appelés et commentés dans un ordre chronologique dans le texte. Ils présentent des données synthétiques. Les tableaux de données de base ne conviennent pas. Les figures doivent montrer à la lecture visuelle suffisamment d'informations compréhensibles sans recours au texte. Les figures sont en Excell, Havard, Lotus ou autre logiciel pour graphique sans grisés et sans relief. Il faudra fournir les données correspondant aux figures afin de pouvoir les reconstruire si c'est nécessaire.



## Effect of drying on the diversity of benthic macroinvertebrates in tributary streams of the Sota River in North-Eastern Bénin

Z. Orou Piami<sup>1</sup>, H. Akodogbo<sup>2</sup>, M. P. Gnohossou<sup>1</sup>, K. S. Abahi<sup>1</sup> et H. S. Sanni Worogo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MSc. Zoulkanerou OROU PIAMI, Laboratory of Ecology, Health and Animal Productions (LESPA), Faculty of Agronomy (FA), University of Parakou (UP), BP 123 Parakou, E-mail: [zoulkpiami@gmail.com](mailto:zoulkpiami@gmail.com), Tel.: (+229)94520520, Republic of Benin

Pr. Midogbo Pierre GNOHOSSOU, LESPA/FA/UP, BP 123 Parakou, E-mail: [gnohossou@yahoo.com](mailto:gnohossou@yahoo.com), Tel.: (+229)97267769, Republic of Benin

Dr. Koudjodé Simon ABAHI, LESPA/FA/UP, BP 123 Parakou, E-mail: [abassabahi@yahoo.fr](mailto:abassabahi@yahoo.fr), Tel.: (+229) 96031905, Republic of Benin

Dr Hilaire Sorébou SANNI WOROGO, LESPA/FA/UP, BP 123 Parakou, E-mail: [hilaïrov@gmail.com](mailto:hilaïrov@gmail.com), Tel.: (+229)97839763, Republic of Benin

<sup>2</sup>Dr. Hervé AKODOGBO, Research Laboratory in Applied Biology (LARBA), Polytechnic School of Abomey-Calavi (EPAC), University of Abomey-Calavi (UAC), 01BP 526 Cotonou 01, E-mail: [hakodogbo@yahoo.fr](mailto:hakodogbo@yahoo.fr), Tel.: (+229)95069445, Republic of Benin

\*Correspondence author: MSc. Zoulkanerou OROU PIAMI, E-mail: [zoulkpiami@gmail.com](mailto:zoulkpiami@gmail.com)

### Abstract

In northern Benin, the tributaries of the Sota River are subject to severe droughts, but little is known on how the aquatic fauna reacts to these environmental changes. The study aimed to assess the impact of drying on the diversity of benthic macroinvertebrates of the three streams (Bouli, Irané and Tassiné) tributaries of the Sota River. Data on biological and physico-chemical parameters were collected before and after drying. The results revealed that 55 families were collected before the drying up while 50 families were recorded after the drying up of the study stations. The taxonomic richness revealed 24.96% of Insects, 0.10% Crustaceans, 1.10% Molluscs, 0.81% of Worms and 0.16% of Hydracariens were recorded before drying while 20.22% of Insects, 0.22% Crustaceans, 1.06% Molluscs, 11.40% Worms and 0.16% Hydracariens were recorded after drying. The high values of the Shannon and Pielou diversity indices and the high values of the taxonomic richness recorded before the drying reflect the effects of the drying on the benthic communities of the Sota. The high density of Worms and Molluscs after drying is characteristic of their ability to recolonize and resist drought.

**Keywords:** benthic macroinvertebrates, drying, effect, Sota, Bénin.

### Effet de l'assèchement sur la diversité des macroinvertébrés benthiques des ruisseaux affluents de la rivière Sota au Nord-Est-Bénin

#### Résumé

Au Nord-Bénin, les cours d'eaux affluents de la rivière Sota subissent un régime hydrologique irrégulier, avec de fortes sécheresses, mais on ignore la façon dont la faune aquatique réagit à ces événements naturels. L'étude visait à évaluer l'influence de l'assèchement sur la diversité des macroinvertébrés benthiques des trois ruisseaux (Bouli, Irané et Tassiné) affluents de la rivière Sota au Nord Bénin. Les données sur les paramètres biologiques et physico-chimiques ont été récoltées avant et après assèchement. Ces données collectées ont été évaluées au moyen des indices de Shannon et de Pielou, ainsi qu'aux Analyses en Composantes Principales (ACP) et Analyses Canoniques de Correspondances (ACC). Les résultats révélaient que 55 familles appartenant à 17 ordres ont été récoltés avant l'assèchement tandis que 50 familles appartenant à 17 ordres, ont été enregistrés après l'assèchement des stations d'études. La richesse taxonomique a révélé 24,96% d'Insectes ; 0,10% de Crustacés, 1,10% de Mollusques, 0,81% de Vers et 0,16% des Hydracariens avant assèchement et 20,22% d'Insectes, 0,22% de Crustacés, 1,06% de Mollusques, 11,40% de Vers et 0,16% d'Hydracariens après l'assèchement. Les fortes valeurs des indices de diversité de Shannon et de Pielou et les valeurs élevées de la richesse taxonomique enregistrée avant l'assèchement traduisent les effets de l'assèchement sur les communautés benthiques de la Sota. La forte densité des vers et des mollusques après l'assèchement est caractéristique de leur capacité à résister à la sécheresse.

**Mots clés :** macroinvertébrés benthiques, assèchement, effet, Sota, Bénin.

#### Introduction

As the source of life, water is a precious and essential good for all forms of life and its preservation has become an absolute priority. For this purpose, it must be present in large quantities for most human activities and the life of animals. Quantitative monitoring of surface water hydrology now appears fundamental (Gallart *et al.*, 2016; Beaufort *et al.*, 2018). The monitoring of low water levels and droughts requires the design of effective tools allowing both to better understand the appearance of these phenomena, their evolution and their impact on aquatic ecosystems but also to help in the management of crisis periods (Dudgeon, 2000). Surface water loss acts as an ecological filter (Poff, 1997) and benthic macroinvertebrates have quantitative taxon-specific properties responding to drying since drought has

an immediate impact, acting from a certain threshold, when it occurs, whatever the season (Leigh *et al.*, 2016). Long-term simulations (1960 - 2100) show trends towards more severe and persistent low and dry periods (Stahl *et al.*, 2012; Forzieri *et al.*, 2014). Despite the importance of aquatic ecosystems in particular, the benthic macrofauna, few studies focused on benthic macroinvertebrates in the cotton basin in northern Benin. In addition, no previous research has focused on the assessment of the impact of drying on benthic invertebrate communities of aquatic ecosystems in Benin. Therefore, data on the variation in the structure and diversity of benthic macroinvertebrates under the harmful effect of the drought of the beds of the streams flowing from the Sota River in northern Benin remain almost non-documented. However, benthic macroinvertebrates are organisms visible to the naked eye such as insects, molluscs, crustaceans and worms that inhabit the bottom of streams and lakes. They are an important link in the food chain of aquatic environments, as they are a primary food source for several species of fish, amphibians and birds (Gnohossou, 2006; Balachandran and Ramachandra, 2010). Benthic macroinvertebrates are known to be good indicators of the health of aquatic ecosystems due to their sedentary lifestyle, their varied life cycle, their great diversity and their variable tolerance to pollution and habitat degradation (Moisan and Pelletier, 2008; Chadd *et al.*, 2017). The relationships between the structure of the macroinvertebrate community and the variation in environmental conditions were the subject of this study on the Sota River northern Benin.

## Study Area

The Sota River is one of the three rivers in the cotton basin of Benin. Its length is around 254 km and its area covers about 13,360 km<sup>2</sup>; i.e 11% of the total area of the country. This river is entirely located in the north of Benin mainly in the departments of Borgou and Alibori. It covers the municipalities of Malanville, Ségbana, Kandi and Gogounou in the department of Alibori and the municipalities of Bembèrèkè, Kalalé and Nikki in the department of Borgou (Figure 1).

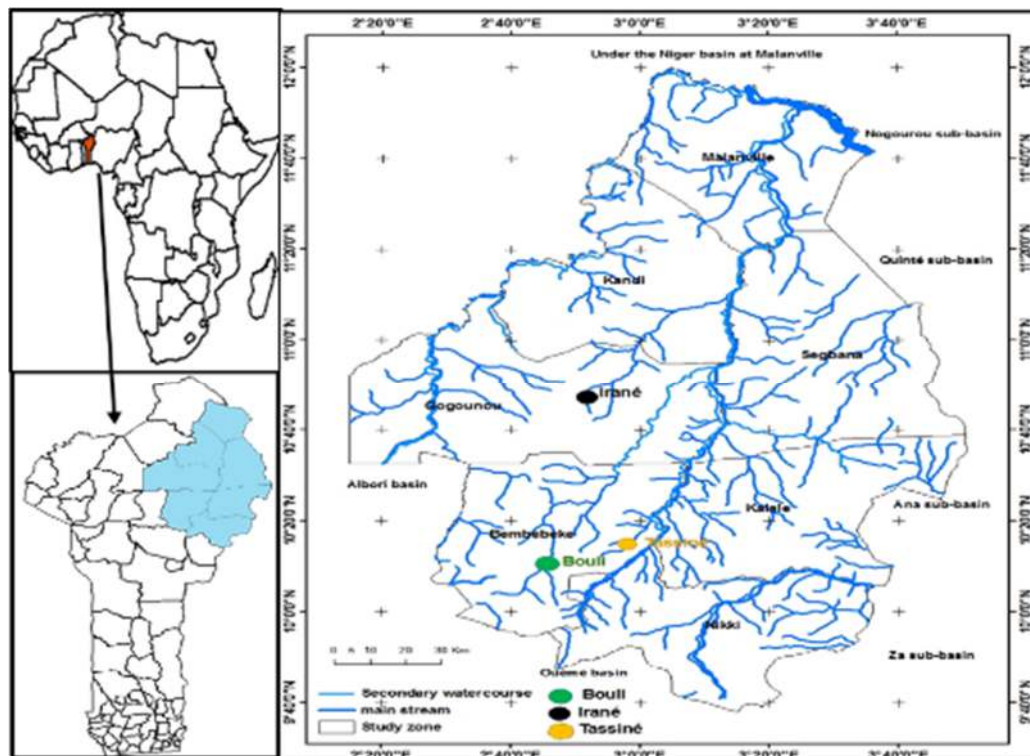


Figure 1. Situation of the Sota watershed

It is located between 9°54' and 11°95' North latitude and 2°28' and 3°52' East longitude (Koumassi, 2014). It is bounded in the North-East by the sub-watershed of Niger at Malanville, in the South by the watershed of Ouémé, in the South-East by the watershed of Za, in the West by the watershed of Alibori and in the east by the sub-watersheds of Nogourou, Quinté and Ana. The Sota originates at an altitude of more than 400 m on the eastern flanks of the sandstone plateau of Kalalé, which it will bypass through the north before taking the SSW-NNE direction on the basement formations. Ninety kilometers after its source, it enters into the sandstone formations of the Cretaceous which it cuts quite deeply and after 250 km it joins the Niger at one kilometer downstream from Malanville (Alomasso *et al.*, 2015). This river successively receives the Souamon on its left bank, the Gouroukpa, the Sosso waterfall, the Tassiné

(102 km long with an area of 3,031 km<sup>2</sup>), the Bouli (145 km long and 2,380 km<sup>2</sup> in area), the Irané (55 km long and 1,832 km<sup>2</sup> in area) on its right bank (Le Barbé *et al.*, 1993). These three (Bouli, Irané and Tassiné) tributary streams of the Sota represent the study sites (Figure 1). The Sota crosses the forest of the three rivers, the forest of the Sota and the forest of Goungoun as well as two main tracks (N'dali-Kalalé and Kandi-Ségbana).

## Materials and methods

### Measurement of physico-chemical parameters

Before harvesting the benthic macroinvertebrates, physico-chemical parameters such as temperature, conductivity, TDS (Dissolved Solids), depth, transparency, and pH of the waters are measured in situ between 08 a.m. and 12 p.m. in all three monitoring stations. Conductivity, temperature and TDS were measured using a conductivity meter (HANNA HI 99300). The pH was measured using a pH meter (HANNA HI 98107). The width of the wet bed is measured using a tape measure. The depth and transparency of the river were measured using a Secchi disk. Finally, a GPS, Garmin GPS 72 navigator is used to determine the geographical coordinates of the sampling stations.

### Sampling Method

The sampling of benthic macroinvertebrates is carried out on three tributary streams of the Sota before the drying of the study stations (in December 2020) and after the replenishment of the same study stations (in June 2021), referring to the Global Normalized Biological Index (diagnostic tool for aquatic ecosystems based on the study of benthic macroinvertebrates). In fact, in each of the three study stations, eight samples of benthic macroinvertebrates were collected using a Surber net of 500 µm mesh and a metal frame with an area of 1/20 m<sup>2</sup>. During each harvest session, the Surber net was placed in the bed in the opposite direction of the water flow. Once the Surber was settled, the inside of the metal frame is scraped and washed from a depth of around 5 cm and pushed inside the net, under the help of the water current the samples are collected using the net. Consists of eight samples of benthic macroinvertebrates on different substrates or habitats according to the order defined by the Brussels Institute for Environmental Management (IBGE) standard. At each station, four samples were taken from the dominant substrates and four samples from the marginal substrates. The substrates or habitats on which these samples were taken were macrophytes, litter, stones (boulders or rocks) and benthos (earth, sand or sediment). Then, the harvested macroinvertebrates are preserved using 10% formalin, in jars labelled per site. These samples are transported to the laboratory for sorting and identification operations.

### Sorting and Identification of macroinvertebrates

In the laboratory, the samples were washed and rinsed to reduce waste and sorted station by station. The sorting took place under a binocular magnifying glass. Then, the invertebrates are separated following their morphological appearance and grouped by class, order and family. The taxonomic determination was performed down to the families unless the keys do not allow it. The identification of macroinvertebrates is carried out using the following identification keys: the benthic macroinvertebrates of the rivers of New Caledonia; the Simple key for the determination of freshwater macroinvertebrates at the use of the "little guardian of the rivers"; the Identification guide for the main benthic macroinvertebrates in freshwater in Quebec; freshwater invertebrates: systematics, biology, ecology from and the aquatic entomology. At the end of the determination of these organisms, they were stored in pillboxes containing 70% alcohol.

### Data analysis

The analysis of data on benthic macroinvertebrates and those of the physico-chemical parameters of the Sota River were made using metrics such as taxonomic abundance, taxonomic richness, frequency of observation, diversity index of Shannon and the Piérou index.

- Shannon's diversity index (H') was calculated according to Shannon's formula:  $H' = -\sum p_i \log_2 p_i$ , where  $p_i$  is the relative abundance of species  $i$  in the sample.
- The Piérou Equitability Index (E), which is the ratio of real diversity to maximum diversity, was calculated by the formula:  $E = H'/\log_2 S$ , where  $S$  is the specific richness.

The variability of these metrics and physico-chemical parameters was evaluated with the Kruskal-Wallis test at the 5% threshold and ANOVA with R 4.1.1 software, Package Rcmd and Factominer). Similarly, a Canonical Correspondence Analysis was performed using Past software (Palaeontological Statistics).

This analysis matched benthic and macroinvertebrate data (32 families) with physico-chemical parameter data (6 physico-chemical parameters) obtained during sampling.

## Results

### ***The effect of the drying on the physico-chemical parameters of the waters of the tributary streams of the Sota River***

The mean values and the standard deviation of the physical and chemical parameters of the waters measured in each study station of the Sota River were presented in Table 1. In fact, the mean temperature values recorded varied between 22.77°C and 32.17°C; at the level of each study river, the lowest temperatures were obtained during the dry season and the highest temperatures were recorded during the rainy season. The mean values of pH were between 6.75 and 9.60 across all the streams of the Sota River. The highest and lowest pH values were recorded during the dry season before the drying of the beds of the study stations. The average water transparency of the Sota basin study stations fluctuated between 10.83 cm and 14.33 cm. The high values of transparency were recorded during the dry season and the low values during the rainy season, i.e. during the first rains after the drying of the beds of the sampling stations. The mean values of conductivity ranged from 49.83  $\mu$ S/cm to 85.33  $\mu$ S/cm. The highest value was obtained in the station of Irané during the dry season and the lowest in Bouli during the same season. Similarly, the mean values of TDS presented the same trend as those of the conductivity on all the stations studied.

**Table 1. Effect of drying on the physico-chemical parameters of each study station**

Streams	Period	Temperature	pH	Transparency	Depth	Conductivity	TDS
Bouli	Before Drying	23.65±2.85	7.53±0.55	13.17±6.33	17.17±4.48	49.83±16.06	25.50±7.40
	After Drying	25.78±2.03	6.75±0.18	13.67±2.08	24.83±6.21	75±19.47	37.5±9.73
<i>p-value</i> _Bouli	<i>p-value</i>	0.3013	0.01891	0.7112	0.08928	0.1534	0.1731
Irané	Before Drying	22.77±3.31	7.18±0.45	14.5±8.67	19.5±13.08	85.33±24.54	40.83±9.78
	After Drying	25.37±2.58	7.12±0.20	10.83±2.25	15.33±4.51	63±37.51	31.83±18.51
<i>p-value</i> _Irané	<i>p-value</i>	0.0682	0.9143	0.2827	0.3929	0.4146	0.5296
Tassiné	Before Drying	27.7±3.57	7.28±0.70	14.33±5.13	20.33±3.51	59±11.30	29.5±6.08
	After Drying	32.17±13.90	9.6±4.25	13.67±3.06	34.5±17.35	60±39.78	30.33±20.25
<i>p-value</i> _Tassiné	<i>p-value</i>	0.06067	0.7608	0.3681	0.1716	0.9495	0.9178

### **Variation of classes of benthic macroinvertebrates harvested in the Sota River under the effect of drying**

A total of 4,920 individuals of benthic macroinvertebrates were collected before the drying during the dry season and 3,210 individuals after the drying of the creek beds (Bouli, Irané and Tassiné) of the Sota, i.e. during the beginning of the rainy season. The macrofauna collected belonged to five classes (Insects, Molluscs, Crustaceans, Annelids and Hydracarians), 17 orders and 68 families. Generally, a dominance of the insect class was observed in the three study streams (Figure 2). The comparison of the macrofauna collected during two different seasons in these three tributaries of the Sota showed, on the one hand, that these three streams abound during the dry season before the drying, a high number of Insects, Crustaceans and Hydracariens than those of the beginning of the rainy season after the drying and, on the other hand, during the beginning of the rainy season, these streams host more worms and molluscs than those during the dry season before the drying of the creek beds.

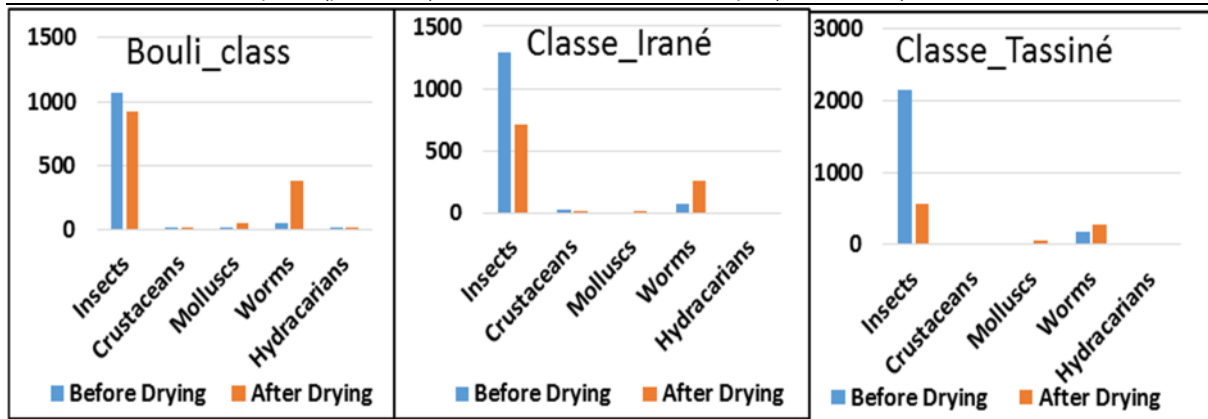


Figure 2. Effect of drying on the classes of benthic macroinvertebrates

**Variation of benthic macroinvertebrate orders collected in the Sota under the effect of drying**

A classification of the orders according to their contribution to the taxonomic richness showed at the level of all the study stations, a dominance of the order of Diptera. A dominance of Trichoptera; Ephemeroptera, Heteroptera, Diptera and Odonata was observed in the samples collected before the drying of the creek beds of the than those collected after the impoundment (Figure 3). While on the contrary, during the replenishment of the study environments, an abundance of Gastropods and Oligochaetes was recorded than those before the beds of the study stations were dried.

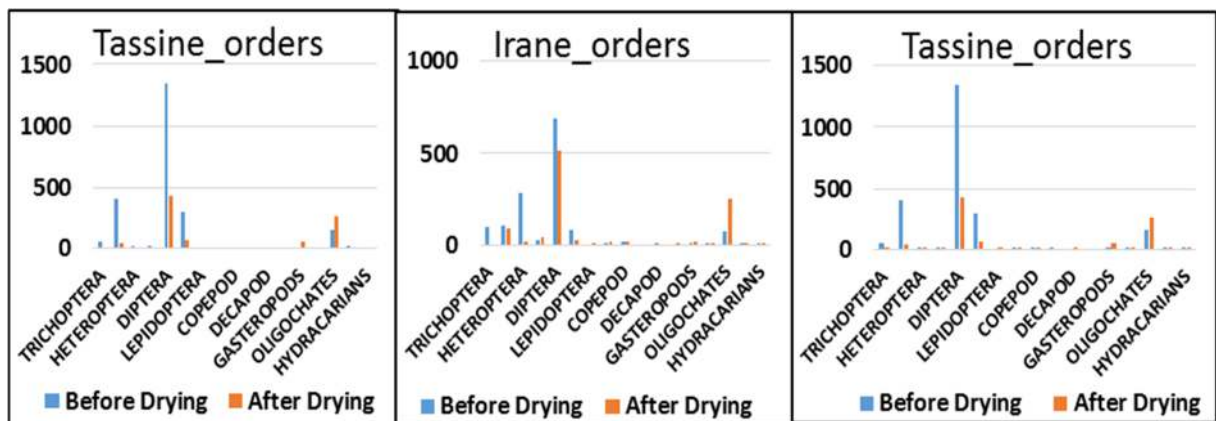


Figure 3. Effect of drying on the orders of benthic macroinvertebrate

**Variation of families of benthic macroinvertebrates collected in the Sota River under the effect of drying**

Histograms of Figure 4 illustrated the abundance of the different families collected in the study stations of the Sota River. A dominance of Diptera (mainly the family of Chironomidae) with 2,091 individuals and Ceratopogonidae (2,018 individuals) were obtained during the dry season than those at the beginning of the rainy season (Chironomidae 1,005 individuals). While at the beginning of the rainy season after the replenishment of the study stations, there was a high abundance of the family Oligochaetes (874 individuals) and Planorbidae (103 individuals) respectively of the class of Worms and Molluscs only in the dry season Oligochaetes (261 individuals) and Planorbidae (02 individuals) before the drying of the beds of the study stations. On all the three study rivers, the Ecnomidae family, Leptoceridae family, Polycentropodidae family, Ephemerellidae family, Potamanthidae family, Pleidae family, Nepidae family, Notonectidae family, Dryopidae family, Athericidae family, Sciomyzidae family, Stratiomyidae family and Tethinidae family, were recorded in samples before dewatering and absent after dewatering.

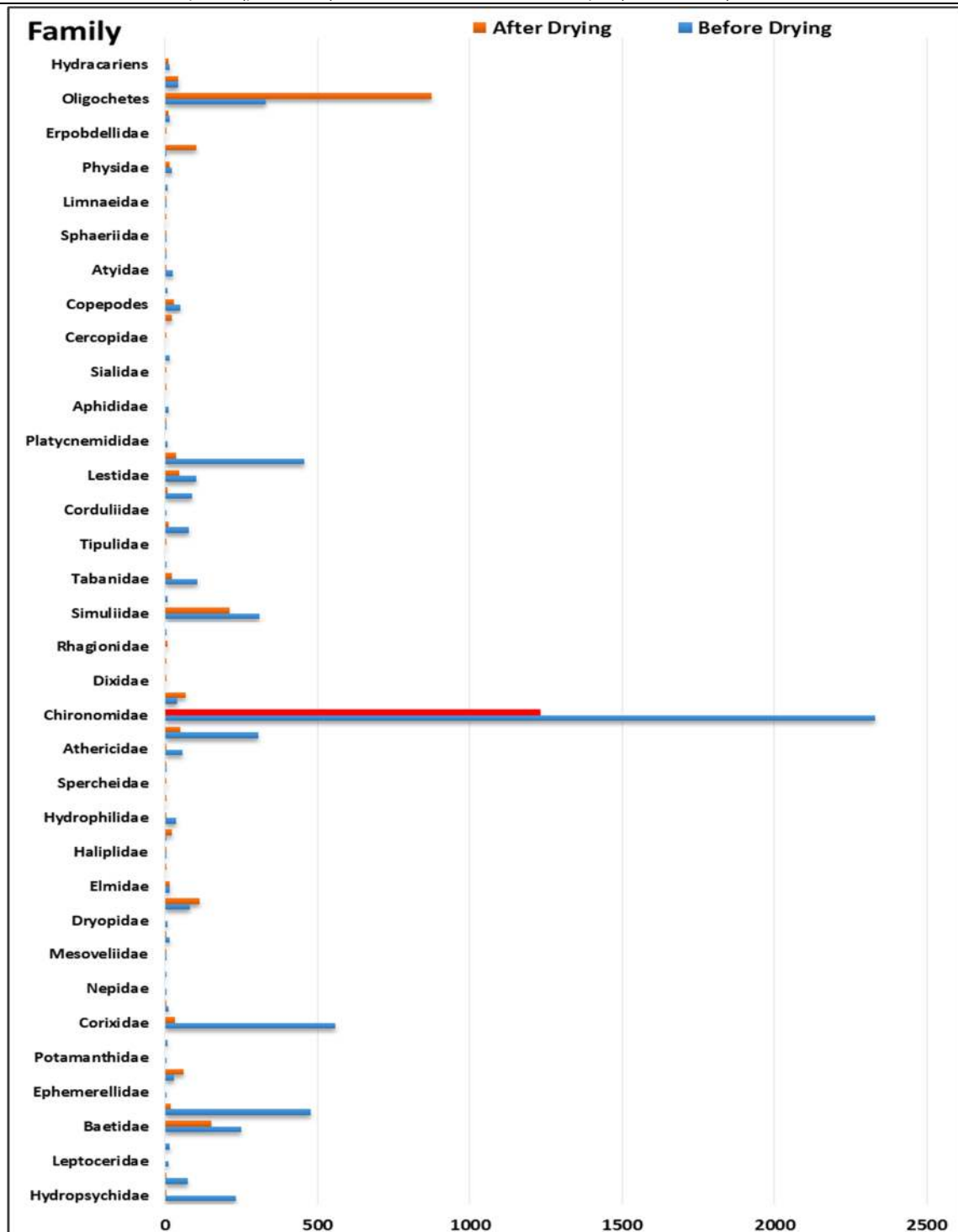


Figure 4. Effect of drying on benthic macroinvertebrate families

**Spatiotemporal variation of the abundance and taxonomic richness of macroinvertebrates under the effect of drying**

The analysis of the taxonomic abundance noted on the tributary streams (Bouli, Irané and Tassiné) of the Sota river showed that the distribution of the taxonomic abundance (number of individuals) was linked to the taxonomic richness (Number of Families) and they varied depending on the season (dry and rainy season) and the study station. The highest and the lowest abundances were observed in the stations of Tassiné, with respectively 3,050 individuals before drying and 920 individuals after drying (Figure 5). Moreover, with regard to taxonomic richness, the highest richness was recorded in the Bouli station (20 families) during the dry season before the drying, while the lowest richness was observed after drying in the station of Tassiné (12 families) (Figure 5).

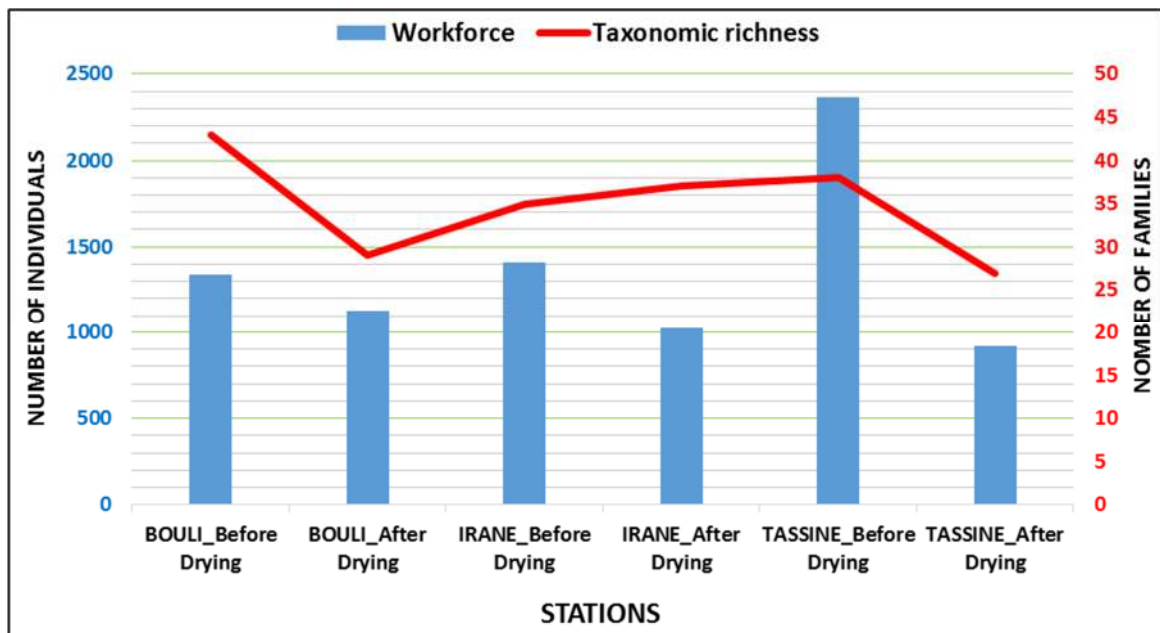


Figure 5. Spatial and temporary variation in the abundance and taxonomic richness of the stations studied  
***Spatio-temporal variation of Shannon-Wiener ( $H'$ ) and Pielou equitability indices by river under the effect of drying***

The Shannon diversity index indicated an identical evolution in all the tributary streams of the Sota (Figure 6).

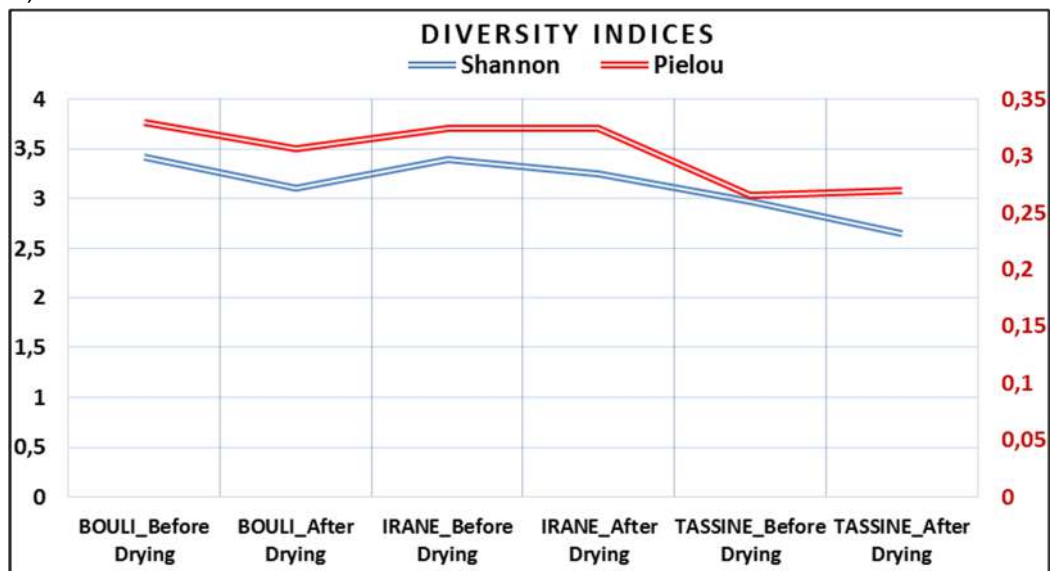


Figure 6. Spatiotemporal variation of the Shannon-Wiener ( $H'$ ) and Equitability (E) diversity indices

The high values of the Shannon diversity index and the Pielou evenness index were recorded before the drying in each study station. While the lowest values of these two diversity indices were obtained in the same stations of tributary streams after drying of the beds of the study stations. The paired t-test of the Shannon-Wiener index ( $H'$ ) and the Fairness (E) of Pielou presented the p-value  $<0,05$ ). Therefore these indices showed significant differences between the study stations from one season to another.

***Canonical correspondence analysis of benthic macroinvertebrates and physico-chemical parameters***

The results of the redundancy analysis carried out between the physico-chemical parameters and the main families at the different sites were presented in Figure 7. Benthic macroinvertebrate sampling carried out on three tributary streams of the Sota River enabled to reveal a change in the structure of benthic macroinvertebrate communities in depletable stations from the dry season to the rainy season,

thanks to a canonical correspondence analysis. This analysis was allowed to match macroinvertebrate and physico-chemical data and presented two main axes (Figure 7).

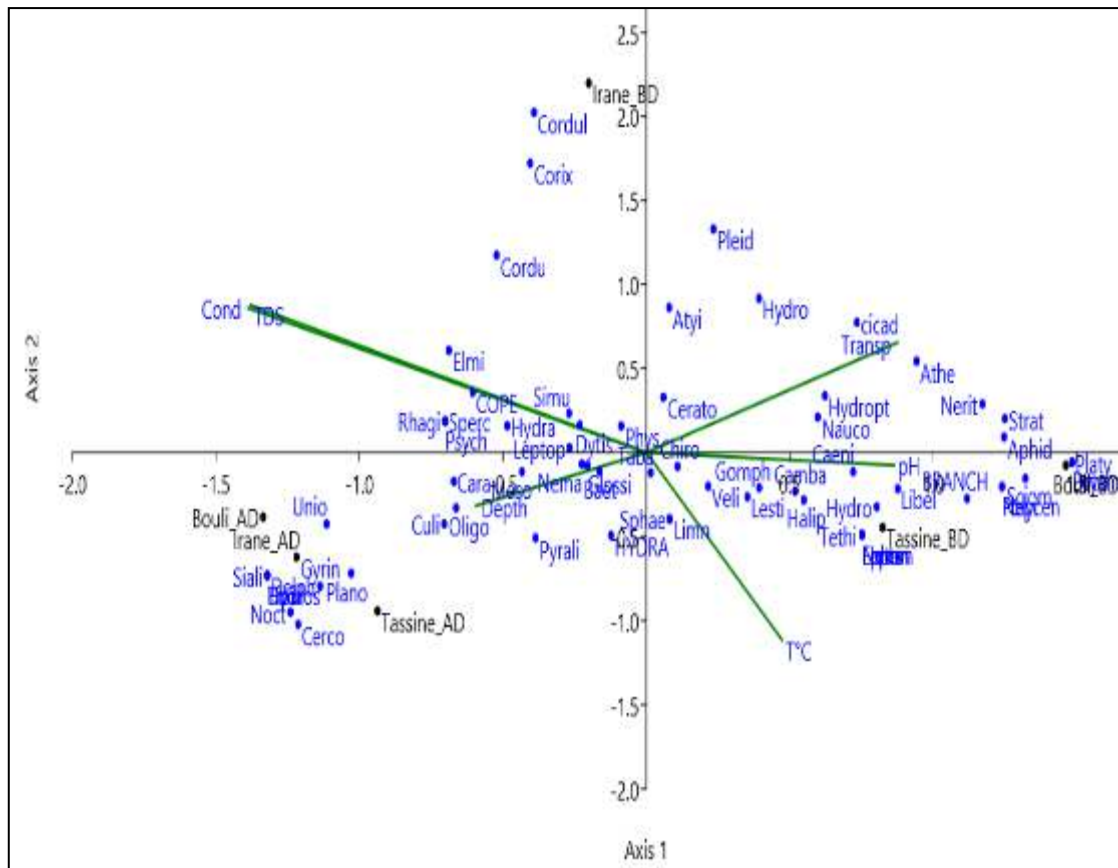


Figure 7. Canonical analysis of correspondences of benthic macroinvertebrates and physico-chemical parameters

Legend: BD = Before Drying; AD = After Drying; *Ecn*=Ecnomidae; *Hydro*=Hydropsychidae; *Hdrypt*=Hydroptilidae; *Lepto*=Leptoceridae; *Polycen*=Polycentropodidae; *Baet*=Baetidae; *Caeni*=Caenidae; *Ephem*=Ephemereididae; *Leptop*=Leptophlebiidae; *Potam*=Potamanthidae; *Pleid*=Pleidae; *Corix*=Corixidae; *Nauco*=Naucoridae; *Nepi*=Nepidae; *Noton*=Notonectidae; *Meso*=Mesoveliidae; *Veli*=Veliidae; *Dryo*=Dryopidae; *Dytis*=Dytiscidae; *Elmi*=Elmidae; *Gyrin*=Gyrinidae; *Halip*=Halipidae; *Hydra*=Hydraenidae; *Hydro*=Hydrophilidae; *Hydos*=Hydrosaphidae; *Sperc*=Spercheidae; *Cara*=Carabidae; *Athe*=Athericidae; *Cerato*=Ceratopogonidae; *Chiro*=Chironomidae; *Culi*=Culicidae; *Dixi*=Dixidae; *Psych*=Psychodidae; *Rhagi*=Rhagionidae; *Sciom*=Sciomyzidae; *Simu*=Simuliidae; *Strat*=Stratiomyidae; *Taba*=Tabanidae; *Tethi*=Tethinidae; *Tipul*=Tipulidae; *Cordul*=Cordulegasteridae; *Cordul*=Corduliidae; *Gomph*=Gomphidae; *Lesti*=Lestidae; *Libel*=Libellulidae; *Platy*=Platycnemididae; *Pyrali*=Pyralidae; *Aphid*=Aphididae; *Noct*=Noctuidae; *Siali*=Sialidae; *Cicad*=Cicadellidae; *Cerco*=Cercopidae; *Delph*=Delphacidae; *Cope*=Copepoda; *Branch*=Branchiopods; *Atyi*=Atyidae; *Camba*=Cambaridae; *Sphae*=Sphaeriidae; *Unio*=Unionidae; *Limn*=Limnaeidae; *Nert*=Neritidae; *Phys*=Physidae; *Plono*=Planorbidae; *Erpo*=Erpobdellidae; *Glossi*=Glossiphoniidae; *Oligo*=Oligochetes; *Nema*=Nematodes; *Hydra*=Hydracariens; *T°C*=Temperature; *Transp*=Transparency; *Cond*=conductivity.

Axis 1 was strongly and positively correlated with the Irané BD (Irané Before Drying) station and was linked to the Cordulegasteridae families, Corixidae families, Corduliidae families, Pleidae families and Atyidae families. This axis (1) was strongly and negatively correlated with high values of temperature and families of Hydracariens, Limnaeidae, Sphaeriidae and those of the Tabanidae.

As for axis 2, it was positively correlated with high pH values; transparencies and Temperatures and was strongly associated with the Platycnemididae families, Aphididae families, Sciomyzidae families, Branchiopods families, Neritidae families, Libellulidae families, Caenidae families, Naucoridae families, Hydroptilidae families, Hydrophilidae families, Lestidae families, Gomphidae families, Cambaridae



families, Veliidae families and Athericidae families. These families were strongly associated with the Bouli\_BD stations; Irane\_BD. Axis 2 was also negatively correlated with high Electrical Conductivity values; levels of dissolved solids and at depths and linked to the Unionidae families, Unionidae families, oligochetes families, Sialidae families, Delphacidae families, Noctuidae families, Gyrinidae families, Cercopidae families, Hydroscaphidae families and Culicidae families. These families were strongly associated with the stations after drying, i.e. Bouli\_AD (Bouli\_After Drying); Irané\_AD; and Tassiné\_AD.

## Discussion

The analysis of the physico-chemical quality of the waters in the study stations show that most of the parameters measured had no significant difference between the dry season (before drying) and the dry season rainy (after drying). Only pH varies significantly from one season to another at the Bouli station. In fact, the average temperature values recorded vary between 22.77°C and 32.17°C in each study station, the lowest temperatures are obtained before the drying of the study stations and the highest temperatures are recorded after drying at the beginning of the rainy seasons. This increase in temperature values can be justified by the effects of warming of the creek beds in the study environments during drying. In fact, Dandelot *et al.* (2005) mentioned that at the end of the dry season the temperature of the bottom water is generally higher than that of the surface, around 0.5 to 1°C. This difference is explained by the slowness of the heating and/or cooling phenomena, which take place in the water column (Constant *et al.*, 2005). The average measured pH values of the water are between 7.18 and 7.53 before drying and 6.75 and 9.60 during the first rains after the study stations have dried. This spatiotemporal difference in pH values is explained by the mineralization of organic matter. The pH measured after drying is above the tolerable limit (6.5 and 8.5) which characterizes waters where life develops optimally. The high value of pH (9.60) can be linked to the drainage of basic substances by the runoff of the first rains after drying towards the sampling stations. Transparency enables us to specify visual information about water (Perroux, 2006). The values of transparency measured before drying of the study stations are higher than those after drying. These observations are similar to those of (Alayat *et al.*, 2013) and can result in the presence of particles in the water (organic debris, clays, microscopic organisms). Measurements of the electrical conductivity of water reflect its dissolved salt content. The conductivity and the TDS follow the same trend and do not vary significantly between the dry season and the rainy season. This is justified, on the one hand, by the self-purification capacity of aquatic ecosystems before the measurement of physico-chemical parameters and, on the other hand, by the sampling period (before the use of agricultural inputs). The interest of electrical conductivity measurements is mainly shown in their spatial evolution and not in time. In fact, the low inflows at the end of the dry season from the tributaries cannot be the cause of the variation in the electrical conductivity of the waters of the (Koudenoukpo *et al.*, 2017).

The difference in taxonomic abundance is justified by the disappearance of certain faunal groups when the bed of the study stations dried up under the effect of the dry season. The benthic macrofauna collected is composed of Insects, Molluscs, Crustaceans, Worms and Hydracarians. The comparison of the macrofauna collected during two different seasons in these three tributaries of the Sota shows, on the one hand, that these three streams abound during the dry season before the drying, a high number of Insects, Crustaceans and Hydracariens than those of the beginning of the rainy season after the drying and, on the other hand, during the beginning of the rainy season, these streams host more Worms and Molluscs than those during the dry season before the drying of the studied creek beds. This difference in the spatiotemporal density of the *classes* of benthic macroinvertebrates can be due to the fact that Insects, Crustaceans and Hydracarians disappear during the dry season. The larvae and the nymph die under the effect of the drought of their environment. Biotic responses to environmental stresses can be species specific (Lake, 2003). Sprules (1947) observed that many Trichoptera larvae washed ashore and were killed when an Ontario (Canada) stream became intermittent. The adults of some families become terrestrial. Insects grow wings to fly away. All these species return to reproduce in aquatic environments after the replenishment of aquatic ecosystems during the rainy season, which reveals their abundance before the study environments dry up. This observation is similar to that of (Pires *et al.*, 2000) in the Guadiana River. These authors reported that macroinvertebrates have a great capacity to recolonize streams impacted by droughts. As for Molluscs and Worms, when the waterways dry up, they do not die but pass on a slowed life. They bury themselves until the humidity of the ground awaits the refilling of the streams during the rainy season before coming back to the surface. This therefore explains their abundance (Molluscs and Worms) after replenishment than that before drying of the beds of the rivers. These observations are similar to those of Lytle and Poff (2004) who revealed that drought-tolerant taxa generally possess behavioural, morphological, physiological and/or biological adaptive properties to survive the dry phase. Strachan *et al.* (2015), observed that organisms with flexible body shapes may respond to drying by moving into the subterranean interstices, which may

maintain high humidity and thus may provide refuge for aquatic invertebrates during the dry phases. Additionally, a highly flexible body allows organisms, including Oligochaetes and Leeches, to form desiccation-tolerant globular cysts (Montalto and Marchese, 2005; Shikov, 2011). The analysis of the orders of all the recorded benthic fauna generally showed the dominance of the Diptera orders, whatever the harvest period. These results corroborate with those of Straka *et al.* (2019) who reported that Diptera larvae dominate the fauna, probably because they are more tolerant of drought conditions and have more effectiveness of recolonization mechanisms.

The taxonomic richness observed in the tributary streams of the Sota before drying (55 families) is very high compared to that (50 families) recorded after the refilling of the study stations. The difference in the number of families between the two seasons is linked to the mortal effects of drought or anthropization on certain taxonomic groups. This richness also varies from one study station to another depending on the intensity and duration of the drying of the bed of the sampling sites. Corti (2013) also concluded that drought in aquatic environments imposes changes in the macroinvertebrate community and the magnitude of changes depends on the degree and duration of drought.

The results of the redundancy analysis carried out between the physico-chemical parameters and the main families in the different sites show a correlation between the high depth and the Unionidae family, Panorbidae family, oligochaetes family, Sialidae family, Delphacidae family, Noctuidae family, Gyrinidae family, Cercopidae family, Hydroscaphidae family and Culicidae family. These families are heavily harvested at the stations after the drying, i.e. the Bouli\_AD stations; Irané\_AD; and Tassiné\_AD. The high density of families of Molluscs (Unionidae and Panorbidae) and those of Worms (Oligochaetes) after the drying could confirm their ability to burrow into the ground to wait for the replenishment of their living environment. The high depth is due to the abundance of rain. As for the stations before drying (Bouli\_BD; Tassiné\_BD), they are characterized by high pH values; Transparency and temperature and are strongly linked to certain families of insects and crustaceans, such as: Platycnemididae, Aphididae, Sciomyzidae, branchiopods, Neritidae, Libellulidae, Caenidae, Naucoridae, Hydroptilidae, Hydrophilidae, Lestidae, Gomphidae, Cambaridae, Veliidae and Athericidae. This therefore confirms the dominance of *insects* and *crustaceans* before drying and after replenishment. The rise in pH and temperature can be related to the decrease in the volume of water during the dry season under the phenomenon of evaporation, infiltration and flow. The variation in temperature is strongly responsible for the distribution of the benthic community harvested. Studies carried out by Gore *et al.* (2001) indicate that hydrological conditions are the main driving forces affecting benthic macroinvertebrate distribution and abundance patterns. These observations are similar to those of Abungba *et al.* (2020) who also reveal that changes in the distribution of benthic invertebrates caused by the regulation of rivers can occur due to thermal changes. The high transparency is explained by the non-drainage of agricultural inputs in the absence of rains and the appeasement of particles in suspension during the dry season before the drying of the yards. The structure of the benthic populations evaluated by means of the indices of diversity of Shannon-Weaver and Equitability of Piérou, enabled to observe that the stations after the drying accommodate a little diversified and largely unbalanced population compared to the stations after the drying; i.e. after refilling the study sites with water. All this shows the spatiotemporal difference in the biodiversity of the benthic macroinvertebrate community of the dry tributary streams of the Sota River in northern Benin.

## Conclusion

This study assesses the seasonal response of benthic invertebrates to drying factors in the Sota River. The results show, on the one hand, a dominance of Insects, Crustaceans and Hydracariens before the drying out and, on the other hand, the abundance of worms and molluscs after the impoundment. A slight decrease in individuals, taxa richness and diversity exist after drying compared to before drying. This is coordinated by the low values of the Shannon-Weaver diversity and Piérou indices after impoundment in the study stations. The temporal difference in the density of benthic community families in the Sota River indicates the effects of drought on the biodiversity of benthic macroinvertebrates. In all of the samples collected during these two seasons, Diptera larvae dominate the fauna, probably because they are more tolerant of drought conditions and have a more efficient recolonization mechanism. Most of the individuals of the species collected are either hatching eggs or especially very young, small larvae. Future research should therefore also use practical field experiences to improve understanding of the effect of longer drying times in streams, individuals and populations down to the community level. Such experiments should encompass the recovery of aquatic fauna after the return of surface waters to better understand the persistence of desiccation and recolonization processes.

## Acknowledgement

The authors thank the Beninese government, through its support program for doctoral students, for its financial assistance.

## References

- Abungba, J.A., D. Khare, S.M. Pingale, K.A. Adjei, C. Gyamfi, S.N. Odai, 2020: Assessment of hydro-climatic trends and variability over the Black Volta Basin in Ghana. *Earth Systems and Environment* 4, 739–755.
- Alayat, H., J. El Khattabi, C. Lamouroux, 2013 : Evolution spatiale des caractéristiques physico-chimiques des eaux du lac Oubeïra impose par les conditions sévères de la sécheresse (Extrême Ne Algerien). *European Scientific Journal* 9.
- Alomasso, A.A., E.K. Agbossou, E.W. Vissin, 2015 : Gestion intégrée des ressources en eau et conflits d'usage dans le bassin beninois du fleuve Niger en Afrique de l'Ouest [Integrated water resources management and conflict of use in the basin of Benin Niger River in West Africa]. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 12, 631.
- Balachandran, C., T. Ramachandra, 2010: Aquatic macroinvertebrate diversity and water quality of bangalore lakes. *Wetlands: Biodiversity and Climate Change*. Bangalore: Energy and Wetland Research Group.
- Beaufort, A., N. Lamouroux, H. Pella, T. Datry, E. Sauquet, 2018: Extrapolating regional probability of drying of headwater streams using discrete observations and gauging networks. *Hydrology and Earth System Sciences* 22, 3033–3051.
- Chadd, R.P., J.A. England, D. Constable, M.J. Dunbar, C.A. Extence, D.J. Leeming, J.A. Murray-Bligh, P.J. Wood, 2017: An index to track the ecological effects of drought development and recovery on riverine invertebrate communities. *Ecological Indicators* 82, 344–356.
- Constant, P., L. Poissant, R. Villemur, 2005 : Impact de la variation du niveau d'eau d'un marais du lac Saint-Pierre (Québec, Canada) sur les concentrations et les flux d'hydrogène, monoxyde de carbone, méthane et dioxyde de carbone. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science* 18, 521–539.
- Corti, R., 2013 : Assèchement des cours d'eau: effets sur les communautés d'invertébrés et la dynamique de la matière organique particulaire (PhD Thesis). Doctorat Biologie, Université Lyon I.
- Dandelot, S., R. Matheron, J. Le Petit, R. Verlaque, A. Cazaubon, 2005 : Variations temporelles des paramètres physicochimiques et microbiologiques de trois écosystèmes aquatiques (Sud-Est de la France) envahis par des *Ludwigia*. *Comptes Rendus Biologies* 328, 991–999.
- Dudgeon, D., 2000: The ecology of tropical Asian rivers and streams in relation to biodiversity conservation. *Annual review of Ecology and Systematics* 239–263.
- Forzieri, G., L. Feyen, R. Rojas, M. Flörke, F. Wimmer, A. Bianchi, 2014: Ensemble projections of future streamflow droughts in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences* 18, 85–108.
- Gallart, F., P. Llorens, J. Latron, N. Cid, M. Rieradevall, N. Prat, 2016: Validating alternative methodologies to estimate the regime of temporary rivers when flow data are unavailable. *Science of the Total Environment* 565, 1001–1010.
- Gnohossou, P., 2006 : La faune benthique d'une lagune ouest africaine (le lac Nokoué au Bénin), diversité, abondance, variations Temporelles et spatiales, place dans la chaine trophique (PhD Thesis).
- Gore, J.A., J.B. Layzer, J.I.M. Mead, 2001: Macroinvertebrate instream flow studies after 20 years: a role in stream management and restoration. *Regulated Rivers: Research & Management: An International Journal Devoted to River Research and Management* 17, 527–542.
- Koudenoukpo, C.Z., A. Chikou, S.H.T. Zebaze, N. Mvondo, R.U. Hazoume, P.K. Houndonougbo, G.A. Mensah, P.A. Laleye, 2017 : Zooplanctons et Macroinvertébrés aquatiques: vers un assemblage de bioindicateurs pour un meilleur monitoring des écosystèmes aquatiques en région tropicale. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 20, 276.
- Koumassi, H., 2014 : Risques hydroclimatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la Sota a l'exutoire de Couberi (PhD Thesis). Université d'Abomey Calavi.
- Lake, P.S., 2003: Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater biology* 48, 1161–1172.
- Le Barbé, L., G. Alé, B. Millet, H. Texier, Y. Borel, 1993 : Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin. Monographies hydrologiques ORSTOM.
- Leigh, C., N. Bonada, A.J. Boulton, B. Hugueny, S.T. Larned, R. Vander Vorste, T. Datry, 2016: Invertebrate assemblage responses and the dual roles of resistance and resilience to drying in intermittent rivers. *Aquatic Sciences* 78, 291–301.
- Lytle, D.A., Poff, N.L., 2004: Adaptation to natural flow regimes. *Trends in ecology & evolution* 19, 94–100.
- Moisan, J., Pelletier, L., 2008: Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec–Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, Canada 86.
- Montalto, L., Marchese, M., 2005: Cyst formation in Tubificidae (Naidinae) and Opisthocystidae (Annelida, Oligochaeta) as an adaptive strategy for drought tolerance in fluvial wetlands of the Paraná River, Argentina. *Wetlands* 25, 488–494.

- Perroux, A.S., 2006: Intérêt des sédiments détritiques endokarstiques en tant qu'archive naturelle? Discussion autour des dépôts lacustres souterrains (Grottes de Choranche-Vercors). *Karstologia* 47, 7–20.
- Pires, A.M., I.G. Cowx, M.M. Coelho, 2000: Benthic macroinvertebrate communities of intermittent streams in the middle reaches of the Guadiana Basin (Portugal). *Hydrobiologia* 435, 167–175.
- Poff, N.L., 1997: Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *Journal of the North American Benthological society* 16, 391–409.
- Shikov, E.V., 2011: *Haemopsis sanguisuga* (Linnaeus, 1758) (Hirudinea)-the first observation of a leech predation on terrestrial gastropods. *Folia Malacologica* 19.
- Sprules, W.M., 1947: *An Ecological Investigation of Stream Insects in Algonquin Park, Ontario, by Wm. Sprules...* University of Toronto Press.
- Stahl, K., L.M. Tallaksen, J. Hannaford, H.A.J. Van Lanen, 2012: Filling the white space on maps of European runoff trends: estimates from a multi-model ensemble. *Hydrology and Earth System Sciences* 16, 2035–2047.
- Strachan, S.R., E.T. Chester, B.J. Robson, 2015: *Freshwater invertebrate life history strategies for surviving desiccation.* Springer Science Reviews 3, 57–75.
- Straka, M., M. Polášek, V. Syrovátka, R. Stubbington, S. Zahrádková, D. Němejcová, L. Šikulová, , P. Řezníčková, L. Opatřilová, T. Datry, 2019: Recognition of stream drying based on benthic macroinvertebrates: A new tool in Central Europe. *Ecological Indicators* 106, 105486.