

---

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I  
*UNIVERSITY OF YAOUNDE I*



FACULTÉ DES SCIENCES  
*FACULTY OF SCIENCE*

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES  
*DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY*

LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT  
*LABORATORY OF HYDROBIOLOGY AND ENVIRONMENT*

---

**Étude de la faune microbienne et des paramètres physico-  
chimiques du tractus digestif d'annélides oligochètes, récoltés à  
Ebebda et à Nkolbikogo (région du Centre Cameroun)**

---

**THÈSE**

Présentée et soutenue publiquement le 11 Mars 2015 en vue de l'obtention du Doctorat/Ph.D  
en Biologie des Organismes Animaux  
Option : Hydrobiologie et Environnement

**Par**

**NANA Paul Alain**  
**Matricule 03X208**

*DEA en Hydrobiologie et Environnement*

**Devant le jury composé de :**

**Président:** NJIOKOU Flobert, *Professeur*, Université de Yaoundé I;

**Rapporteur:** NGASSAM Pierre, *Professeur*, Université de Yaoundé I;

**Membres:** FOMENA Abraham, *Professeur*, Université de Yaoundé I;

NOLA Moïse, *Professeur*, Université de Yaoundé I;

NJAN NLOGA Alexandre Michel, *Maître de Conférences*, Université de  
Ngaoundéré.

---

**Année 2015**

---

## DEDICACE

A mon fils, **NANA DJAMEN Allan Gloire.**

Ta naissance a été pour moi une source de bonheur et de  
motivation.

« ...Tant qu'on ne cessera pas de monter, les marches ne finiront pas ...  
sous les pieds qui montent, elles se multiplieront à l'infini... »

Franz KAFKA

## SOMMAIRE

<b>DEDICACE</b> .....	<b>X</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>XII</b>
<b>AVANT-PROPOS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>XVII</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>XIX</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>XX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XXII</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE</b> .....	<b>4</b>
<b>I.1- Généralités sur les Ciliés</b> .....	<b>4</b>
I.1.1- Structure générale, répartition écologique .....	4
I.1.2- Biologie .....	5
I.1.3- Classification.....	7
I.1.4- Fonctions .....	7
<b>I.2- Grands groupes de Ciliés endocommensaux des annélides oligochètes</b> .....	<b>9</b>
I.2.1- Hétérotriches .....	9
I.2.2- Hysteroconetidés .....	11
I.2.3- Astomes .....	12
<b>I.3- Généralités sur les oligochètes</b> .....	<b>14</b>
I.3.1- Morphologie externe .....	14
I.3.2- Anatomie .....	16
I.3.3- Cycle de vie.....	18
I.3.4- Importance.....	21
<b>I.4 - Cytométrie en flux</b> .....	<b>21</b>
<b>I.5- Paramètres physico-chimiques du tractus digestif d'oligochètes</b> .....	<b>22</b>
I.5.1- Potentiel d'hydrogène .....	22
I.5.2- Pression osmotique, teneur globale en substances dissoutes et en sels minéraux... 23	
I.5.3- Teneur en eau du contenu du tube digestif.....	23
<b>CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES</b> .....	<b>24</b>
<b>II.1- Choix et présentation des sites de prélèvement des oligochètes</b> .....	<b>24</b>
II.1.1- Ebebda.....	25
II.1.2- Nkolbikogo .....	26
<b>II.2- Méthodes</b> .....	<b>27</b>
II.2.1- Collecte et identification des oligochètes.....	27
II.2.2- Récolte des Ciliés.....	28

II.2.3- Techniques d'étude .....	28
II.2.4- Cytométrie en flux.....	29
II.2.5- Paramètres physico-chimiques du tractus digestif des oligochètes.....	31
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>37</b>
<b>III.1- Resultats .....</b>	<b>37</b>
III.1.1- Etude morphologique des espèces nouvelles ou mal connues de Ciliés .....	37
III.1.2- Variation d'abondance de virus et de bactéries le long du tube digestif des oligochètes .....	82
III.1.3- Physico-chimie et mésofaune ciliée du tractus digestif de <i>Alma emini</i> .....	86
<b>III.2-Discussion .....</b>	<b>107</b>
III.2.1- Faune ciliée.....	107
III.2.2- Coexistence Ciliés-virus-bactéries le long du tube digestif des <i>Alma</i> .....	109
III.2.3- Variables physico-chimiques et microfaune du tractus digestif de <i>Alma emini</i> .	111
III.2.4- Variations temporelles et saisonnières de la charge ciliée du tractus digestif de <i>Alma emini</i> .....	114
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>116</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>116</b>
<b>PERSPECTIVES.....</b>	<b>118</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>119</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>136</b>

## AVANT-PROPOS

Ce travail a été entrepris sur les conseils du Professeur **Pierre NGASSAM** et poursuivi sous sa direction. C'est un agréable devoir pour moi de lui exprimer ma profonde et respectueuse reconnaissance pour la bonté dont il m'a toujours entourée. Il m'a permis de garder un contact effectif avec le Laboratoire de Microorganismes : Génome et Environnement de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand II, France, contact sans lequel ce travail n'aurait jamais été réalisé sous cette forme.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Monsieur le Professeur **Pierre de PUYTORAC**. C'est grâce à sa confiance, à ses encouragements et à l'intérêt qu'il a toujours porté à mes recherches que les difficultés rencontrées ont pu être surmontées.

Les Docteurs **Télesphore SIME-NGANDO** et **Geneviève BRICHEUX**, m'ont apporté un précieux soutien logistique ; je les en remercie très sincèrement.

Je tiens à remercier tous les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Animales pour avoir toujours manifesté un grand intérêt à l'évolution de mon travail.

Le Docteur **Zéphyrin FOKAM** m'a reçu au laboratoire avec bienveillance et m'a fait profiter de ses conseils. C'est un agréable devoir pour moi de lui exprimer ici ma profonde et respectueuse gratitude.

J'adresse mes sincères remerciements à toute ma famille, mes amis ainsi qu'à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

## LISTE DES ABREVIATIONS

**BA:** Appareil Buccal  
**Bact:** Bactérie  
**BC:** Bande Claire  
**Bg:** Bande génitale  
**Bo:** Bouche  
**Br.Sq:** Branche Squelettique  
**BS:** Bande Sombre  
**CE:** Conductivité Electrique  
**Cl:** Clitellum  
**CMF:** Cytométrie en Flux  
**Cnv:** Chaîne nerveuse ventrale  
**Cp:** Coussin puberculien  
**CSC:** Courtes Stries Ciliaires  
**Cy:** Cytopyge  
**DAPI:** Di Aminido Phenyl Indol  
**FACS:** Fluorescence Activated Cell Sorter  
**FDM:** Champ Fibrillaire Dense  
**Gc:** Ganglion cérébroïde  
**GSP:** Grande Saison des Pluies  
**GSS:** Grande Saison Sèche  
**IN:** Infundibulum  
**INC:** Institut Nationale de Cartographie  
**MET:** Microscopie Electronique à Transmission  
**Mi:** Micronoyau  
**Mmaa:** Mamelons anti arrhéniques  
**Mmpa:** Mamelons péri arrhéniques  
**Mn:** Macronoyau  
**Ng:** Nervure génitale  
**Ogc:** Orifice des glandes calicifères  
**Pb:** Puberculum  
**PBS:** Phosphate Buffered Saline  
**PE:** Péristome  
**Pf:** Pore femelle  
**Ph:** Pharynx

**Pm:** Pore mâle  
**Pna:** Pores néphridiens alignés  
**Pns:** Pores néphridiens en solfège  
**Pp:** Porophore  
**Pr:** Prostomium  
**Ps:** Spermatophores  
**PSP:** Petite Saison des Pluies  
**PSS:** Petite Saison Sèche  
**Put:** Pustules périthécales  
**Pyg:** Pygidium  
**S:** Ligne de suture  
**Sl:** Sillon longitudinal  
**Ss:** Système sécant  
**Ssad:** Système sécant antérieur droit  
**Ssag:** Système sécant antérieur gauche  
**Sspd:** Système sécant postérieur droit  
**Sspg:** Système sécant postérieur gauche  
**St:** Sillons transversaux  
**TED:** Teneur en Eau du contenu Digestif  
**TSD:** Teneur en Substances Dissoutes  
**UC:** Unité Conventiennelle  
**VBR:** Ratio Virus/Bactéries  
**VE:** Ventouse  
**Vp:** Vacuole pulsatile  
**Vs:** Vésicules séminales

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1 :</b> Cycle cellulaire de <i>Tetrahymena thermophila</i> (Akematsu & Endoh, 2010). .....	6
<b>Figure 2 :</b> Morphologie générale et ciliature somatique des ciliés Hétérotriches du genre <i>Nyctotheroides</i> . .....	10
<b>Figure 3:</b> Morphologie générale et ciliature somatique de quelques ciliés Hysterocinetidés des genres <i>Preptychostomum</i> de Puytorac, 1968a et <i>Amietia</i> Ngassam & Grain, 1998. ....	12
<b>Figure 4 :</b> Morphologie générale de quelques Ciliés Astomes.....	13
<b>Figure 5:</b> Morphologie d'un oligochète (Bouché, 1972).....	15
<b>Figure 6 :</b> Coupe transversale d'un oligochète (Bouché, 1972).....	16
<b>Figure 7 :</b> Appareil digestif d'un oligochète (Bouché, 1972) .....	18
<b>Figure 8 :</b> Cycle de vie de <i>Lumbricus terrestris</i> (Pelosi, 2008) .....	19
<b>Figure 9 :</b> Réseau hydrographique de la région du Centre (INC, 2011 modifiée). .....	24
<b>Figure 10 :</b> Vues partielles des sites de prélèvement d'oligochètes.....	25
<b>Figure 11:</b> Diagramme ombrothermique de la région du Centre pour la période allant de novembre 2010 à novembre 2011 (Données de la station météorologique nationale). ....	26
<b>Figure 12:</b> Photographies d'annélides oligochètes, hôtes de ciliés. ....	27
<b>Figure 13:</b> Principe de fonctionnement d'un cytomètre trieur à flux.....	30
<b>Figure 14 :</b> Système digestif d'un oligochète (Horn <i>et al.</i> , 2003).....	31
<b>Figure 15 :</b> Photographies de l'appareillage d'extraction et de recueillement du liquide digestif des oligochètes. ....	32
<b>Figure 16 :</b> <i>Nyctotherus cardiostomatus</i> Ngassam, 1983a.....	38
<b>Figure 17 :</b> <i>Nyctotherus emini</i> n. sp.....	39
<b>Figure 18 :</b> <i>Nyctotherus renimorphus</i> n. sp. ....	42
<b>Figure 19 :</b> <i>Nyctotheroïdes filimorphus</i> n. sp. ....	44
<b>Figure 20 :</b> Morphologie générale de <i>Ptychostomum bacteriophilus</i> .....	46
<b>Figure 21:</b> <i>Ptychostomum bacteriophilus</i> .....	48



<b>Figure 22:</b> <i>Preptychostomum ebeddaensis</i> n. sp. ....	51
<b>Figure 23 :</b> <i>Proptychostomum gigas</i> n. sp. ....	53
<b>Figure 24 :</b> <i>Thurstonia emini</i> n. sp. ....	55
<b>Figure 25 :</b> <i>Thurstonia nilotica</i> n. sp. ....	57
<b>Figure 26 :</b> <i>Ptychostomoïdes nilotica</i> . ....	59
<b>Figure 27:</b> <i>Ptychostomoïdes gigas</i> . ....	61
<b>Figure 28:</b> <i>Ptychostomoïdes minus</i> . ....	62
<b>Figure 29 :</b> <i>Proptychostomoïdes camerounensis</i> . ....	64
<b>Figure 30:</b> Schéma de diversification morphologique des <i>Hysterocinetia</i> . ....	66
<b>Figure 31:</b> Photographies de <i>A. laterovacuolata</i> (coloration au carbonate d'argent pyridiné) (X 1000). ....	67
<b>Figure 32 :</b> Infraciliature de la partie antérieure de la face inférieure de <i>A. laterovacuolata</i> . ....	68
<b>Figure 33 :</b> Variations morphologiques de l'appareil nucléaire chez <i>A. bivacuolata</i> . ....	70
<b>Figure 34 :</b> Photographie de l'appareil nucléaire d' <i>A. bivacuolata</i> en microscopie à fluorescence, mettant en évidence les excroissances et les digitations (X 1000). ....	71
<b>Figure 35 :</b> Variations morphologiques de l'appareil nucléaire d' <i>A. mediovacuolata</i> . ....	72
<b>Figure 36 :</b> Appareil nucléaire d' <i>A. mediovacuolata</i> . ....	73
<b>Figure 37:</b> <i>Anoplophrya simplex</i> n. sp. ....	74
<b>Figure 38 :</b> <i>Hoplitophrya polymorphus</i> n. sp. ....	76
<b>Figure 39:</b> Cinétome d' <i>Hoplitophrya polymorphus</i> n. sp. ....	78
<b>Figure 40 :</b> <i>Dicontophrya minus</i> n. sp. ....	80
<b>Figure 41 :</b> <i>Dicontophrya elongata</i> n. sp. ....	82
<b>Figure 42:</b> Photographies des particules virales après observation en microscopie électronique à transmission (MET). ....	83
<b>Figure 43:</b> Photographies des Ciliés (coloration au carbonate d'argent ammoniacal pyridinée) mettant en évidence les bactéries non envacuolées dans leur cytoplasme (X 1400). ....	84

<b>Figure 44:</b> Nombre d'évènements fluorescents (FL1-H) en fonction de la structure (SSC-H).....	85
<b>Figure 45 :</b> Abondance de virus et de bactéries le long du tube digestif de <i>A. emini</i> . .....	85
<b>Figure 46 :</b> pH le long du tube digestif de <i>Alma emini</i> . .....	86
<b>Figure 47 :</b> Conductivité électrique le long du tube digestif de <i>Alma emini</i> .....	87
<b>Figure 48 :</b> Teneur globale en eau le long du tube digestif de <i>Alma emini</i> .....	88
<b>Figure 49 :</b> Teneur en substances dissoutes le long du tube digestif de <i>Alma emini</i> . .....	89
<b>Figure 50 :</b> Concentrations en ions nitrates le long du tube digestif de <i>Alma emini</i> .....	90
<b>Figure 51:</b> Concentrations en ions nitrites le long du tube digestif de <i>Alma emini</i> . .....	91
<b>Figure 52 :</b> Concentrations en ions orthophosphates le long du tube digestif de <i>Alma emini</i> . .....	91
<b>Figure 53 :</b> Concentrations moyennes en azote ammoniacal le long du tube digestif de <i>Alma emini</i> .....	92
<b>Figure 54 :</b> Variations saisonnières des valeurs du pH, de la CE, TED et TSD de l'ensemble des portions du tube digestif de <i>A. emini</i> . .....	93
<b>Figure 55 :</b> Variations saisonnières des teneurs en nitrates, nitrites, orthophosphates et azote ammoniacal de l'ensemble des portions du tube digestif de <i>A. emini</i> . .....	94
<b>Figure 56 :</b> Variations mensuelles de l'abondance des Ciliés Astomes appartenant aux genres <i>Almophrya</i> , <i>Dicoelophrya</i> et <i>Paracoelophrya</i> . .....	97
<b>Figure 57:</b> Variations mensuelles de l'abondance des Ciliés Astomes appartenant aux genres <i>Metaracoelophrya</i> , <i>Coelophrya</i> et <i>Anoplophrya</i> . .....	98
<b>Figure 58 :</b> Variations saisonnières de l'abondance des Astomes de l'ensemble des portions du tube digestif de <i>A. emini</i> . .....	99
<b>Figure 59 :</b> Variations mensuelles de l'abondance des Ciliés Hysterocinetidés appartenant aux genres <i>Metptychostomum</i> et <i>Ptychostomum</i> . .....	101
<b>Figure 60 :</b> Variations mensuelles de l'abondance des Ciliés Hysterocinetidés appartenant aux genres <i>Proptychostomum</i> et <i>Preptychostomum</i> . .....	102
<b>Figure 61:</b> Variations saisonnières de l'abondance des Ciliés Hysterocinetidés de l'ensemble des portions du tube digestif de <i>A. emini</i> . .....	103

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I:</b> Caractéristiques morphométriques de l'appareil nucléaire chez <i>A. bivacuolata</i> ...	69
<b>Tableau II:</b> caractéristiques morphométriques de l'appareil nucléaire chez <i>A. mediovacuolata</i> .....	71
<b>Tableau II:</b> Diversité et abondance moyenne annuelle d'Astome le long du tube digestif de <i>A. emini</i> .....	95
<b>Tableau IV:</b> Diversité et abondance moyenne annuelle d'Hysteroconitidés le long du tube digestif de <i>Alma emini</i> .....	100

## RESUME

L'étude porte sur les analyses morphologiques des Protozoaires Ciliés et sur la variation d'abondance de virus et de bactéries du tube digestif d'annélides oligochètes de la famille des Glossoscolecidae récoltés dans la région du Centre Cameroun. De plus, les paramètres physico-chimiques susceptibles d'influencer la sériation de ces microorganismes le long du tube digestif de leurs hôtes ont été analysés.

L'étude morphologique est basée sur les techniques d'imprégnation des spécimens au carbonate d'argent ammoniacal pyridiné et à la coloration au Di Aminido Phenyl Indol. Les prospections effectuées ont permis la description de vingt espèces de Ciliés appartenant aux Hétérotriches, Hysterocinetidés et Astomes.

Chez les Hétérotriches dont la présence jusqu'ici était insoupçonnée chez les Glossoscolecidae, trois espèces du genre *Nyctotherus* ont été décrites ; caractérisées par la présence d'un système sécant apical sur leur face droite. Une espèce du genre *Nyctotheroides* a été décrite. Elle est caractérisée par l'existence de trois systèmes sécants dont un apical sur la face droite et deux (apical et caudal) sur la face gauche.

Chez les Hysterocinetidés, la description de neuf espèces nouvelles démontre l'existence, au niveau de l'appareil adhésif de quatre types différents de topographies d'armature squelettique. Le premier, qui présente quatre strates de fibres squelettiques superposées et antagonistes, correspond à celui du genre *Ptychostomum*. Le second est caractérisé par l'existence d'un champ inorganisé de structures fibrillaires formant une masse dense et indivise dans la partie centrale de la ventouse, pour lequel un nouveau genre est créé : le genre *Ptychostomoides*. Le troisième type se distingue du précédent par l'existence d'une aire glabre dans la région centrale de l'appareil adhésif. En fin le quatrième type, caractéristique du genre *Thurstonia* présente une aire non ciliée réniforme bordée postérieurement par deux lèvres mobiles et dépourvue de fibres squelettiques. Cette diversification morphologique au sein des Hysterocinetidés semble devoir imposer une nouvelle approche de la systématique de ce groupe.

Les Ciliés Astomes *Almophrya bivacuolata* et *A. mediovacuolata* sont caractérisés par un macronoyau soit en X, en H, soit intermédiaire entre X et H. L'étude des variations morphologiques de l'appareil nucléaire chez ces espèces d'*Almophrya* révèle d'importantes digitations, des bandes sombres et d'interbandes dans la structure du macronoyau en H des petits types cellulaires. Chez *A. laterovacuolata*, la disposition de l'appareil vacuolaire est très variable : deux rangées longitudinales entre les branches du macronoyau en H; deux rangées longitudinales hors des branches de celui-ci ; sans ordre

évident entre ses branches. Une révision des critères d'identification des Ciliés *Almophrya* semble devoir s'imposer. Quatre espèces nouvelles appartenant aux genres *Anoplophrya*, *Hoplitophrya* et *Dicontophrya* ont également été décrites chez les Astomes.

Par ailleurs, la technique de la cytométrie en flux nous a permis de mettre en évidence une population jusqu'alors insoupçonnée de virus dans le tractus digestif des vers Glossoscolecidae ainsi qu'une population non moins importante de bactéries.

La technique d'aspiration sous une pompe à vide a permis d'isoler et de recueillir le liquide intestinal du tube digestif de *Alma emini*. Les corrélations effectuées entre les paramètres physico-chimiques et les variations d'abondances des Ciliés ont été significatives. Ces résultats laissent supposer que chaque portion du tractus digestif de *Alma emini* est un ensemble de biotopes, de microhabitats dans lesquels un grand nombre de facteurs physiques et chimiques créent des niches écologiques plus favorables à une espèce ou à un groupe d'espèces. Ceci expliquerait la sériation et la variation d'abondance de la microfaune le long du tube digestif des annélides oligochètes.

**Mots clés :** *Alma*, analyses morphométriques, Astomes, cytométrie en flux, Hétérotriches, Hysteroconetidés, liquide intestinal, paramètres physico-chimiques.

## ABSTRACT

The study focuses firstly on the morphological analysis of ciliates and secondly the variation in abundance of acaryotes and prokaryotes of the digestive tract of annelids Oligochaetes collected in the Center Region of Cameroon. In addition, the physicochemical parameters that influence the seriation of these microorganisms along the digestive tract of their hosts were analysed.

The morphological study is based on the techniques of impregnation of specimens with the ammoniacal silver carbonate, the DAPI and the Feulgen nuclear staining. The surveys carried out on the annelid oligochaetes of the family of Glossoscolecidae have enabled the description of twenty species of ciliates belonging to Heterotrichs, Hysteroconetidae and Astomes. Among Heterotrichs, have been described three species of the genus *Nyctotherus* characterized by the presence of an apical secant system on their right side and a species of the genus *Nyctotheroides* characterized by the existence of three secant systems on their two sides: one on the right side and two on the left. Up to now, the presence of Heterotrichs was unsuspected in Glossoscolecidae. In Hysteroconetidae, the description of nine new species demonstrates the existence of four different types of skeletal pattern. The first type, present four superimposed and antagonistic skeletal fibre layers, corresponds to that of the genus *Ptychostomum*. The second type is characterized by the existence of an unorganized field of fibrillary structures forming a dense and undivided mass in the central part of the suction cup, for which a new genus is created: *Ptychostomoides*. The third type, present in the genus *Proptychotomoides*, is characterized by the existence of a glabrous surface in the central area of the adhesive apparatus. In the genus *Thurstonia*, an unciliated kidney shape surface bordered subsequently by two mobile lips deprived of skeletal fibers was observed. This morphological diversity within Hysteroconetidae requires a new approach of the systematic in this group. In some Astomes (*Almophrya bivacuolata* and *A. mediovacuolata*), the analysis of the morphological variations of the nuclear apparatus allowed us to highlight important digitations and the presence of dark bands in the H macro-nucleus structure of the small cellular types, as well as the presence of intermediate forms between H and X macronucleus in these two species. In *Almophrya laterovacuolata*, the disposition of the vacuolar apparatus is variable: either two longitudinal lines are arranged among branches of the H macronucleus, or two longitudinal lines are out of the H macronucleus branches. These longitudinal lines may also be arranged without obvious order among the H macronucleus branches. Given that the identification within the genus *Almophrya* is specifically based on the number and the

arrangement of vacuoles, a revision of these criteria is required. Four new species belonging to genera *Anoplophrya*, *Hoplitophrya* and *Dicontophrya* were also described in Astomes.

In addition to the description of two new genera in Hysterocinetidae, four species in Heterotrichs, and seven species in Astomes, the technique of the cytometry in flow enabled us to highlight an unsuspected population of viruses in the digestive tract of the Glossoscolecidae as well as a population of bacteria not less important.

The technique of aspiration under a vacuum pump allowed us to isolate and collect the intestinal liquid in three portions of the digestive tract of *Alma emini*. The correlations carried out between physico-chemical parameters and ciliates biomass held our attention. These results suggest that each portion of the digestive tract of *Alma emini* is a set of biotope niches, and microhabitats in which a large number of physical and chemical factors create ecological niches more suitable to a species or a group of species. This might explain the striation and the variation of abundance of the microfauna along the digestive tract of oligochaetes annelids.

**Keywords:** *Alma emini*, Astomes, cytometry in flow, Heterotrichs, Hysterocinetidae, intestinal liquid, morphometrics analysis, physico-chemical parameters.

# **INTRODUCTION**



## INTRODUCTION

La macrofaune du sol correspond aux organismes ayant une taille comprise entre 4 et 80 mm (Bachelier, 1978). Comprenant un très grand nombre de taxons, elle joue un rôle clé dans la régulation des propriétés physiques des sols et de la biodiversité des organismes plus petits (microflore, microfaune et mésofaune) (Lavelle & Spain, 2001). Les annélides oligochètes, regroupés en trois catégories écologiques : épigées, anéciques et endogées (Bouché 1972 ; 1977) représentent une composante majeure de cette macrofaune puisque, dans la plupart des écosystèmes terrestres, ils dominent en biomasse. En 1994, plus de 3600 espèces de vers de terre avaient été recensées dans le monde, auxquelles s'ajoutaient plus de soixante nouvelles espèces chaque année (Lavelle *et al.*, 1998). On estime à 7000 environ le nombre total d'espèces, la majorité vivant en zone tropicale (Lavelle *et al.*, 1998). Hormis leur rôle d'« ingénieurs » du sol, les oligochètes sont aussi considérés comme microhabitat car leur tube digestif héberge une importante faune microbienne constituée d'acaryotes (Fokam, 2012) ; de procaryotes (Singleton *et al.*, 2003; Valle-Molinas *et al.*, 2007 ; Byzov *et al.*, 2007) ; de champignons (Parthasarathi *et al.*, 2007) et d'autres eucaryotes. Ces eucaryotes sont surtout constitués de protozoaires ciliés regroupant :

- les Hétérotriches qui sont pourvus d'une cavité buccale au pôle antérieur des cellules ; leur découverte remonterait à l'époque des premières observations microscopiques, mais il a fallu attendre le XIXe siècle pour que des descriptions suffisamment précises permettent leur identification. Au Cameroun, Albaret (1975) ; Albaret & Njiné (1975) ; Ngassam (1983a) décrivent plusieurs espèces nouvelles ;

- les Hysteroconetidés disposent d'une cavité buccale au pôle postérieur et d'une ventouse située à l'extrémité antérieure des cellules. Les investigations de Ngassam (1992) ; Ngassam *et al.* (1993) ; Ngassam *et al.* (1994) ; Ngassam & Grain (1997, 1998, 2000) ; Njiné & Ngassam 1993 sur les oligochètes Glossoscolecidae du Cameroun ont contribué à la connaissance de plusieurs espèces nouvelles ;

- les Astomes qui sont des Ciliés dépourvus de bouche. Les premiers représentants africains du Sud du Sahara n'étaient connus que pour les oligochètes du Gabon (de Puytorac, 1968, 1969a, 1969b ; de Puytorac & Dragesco, 1968, 1969). Les travaux de Ngassam (1980, 1983b) ; Ngassam *et al.* (1998) ; Fokam (2005) ; Fokam *et al.* (2008) ; Fokam *et al.* (2012) sur les annélides oligochètes Glossoscolecidae et Megascolecidae du Cameroun ont révélé une riche faune d'Astomes.

Les données acquises sur ces microorganismes, endocommensaux d'annélides oligochètes, n'ont surtout traité que l'aspect faunistique, morphologique et moléculaire

(Ngassam, 1992 ; Ngassam *et al.*, 1993 ; Ngassam *et al.*, 1994 ; Njiné & Ngassam 1993 ; Ngassam & Grain, 2000 ; Fokam *et al.* , 2008, 2011, 2012). Fort peu de travaux ont été effectués sur leur condition de vie à savoir l'étude des paramètres physico-chimiques de leur environnement immédiat. D'une façon générale, chez les oligochètes comme chez les polychètes, c'est essentiellement sur les liquides cœlomiques et sanguins qu'ont été dirigées les recherches. Clementi (1924) s'est intéressé, à ce point de vue, à *Lumbricus terrestris*. L'étude du liquide n'aurait été abordée, pour la première fois, que par Maluf (1940), bien que ce fut ainsi dans un but de comparaison d'ailleurs avec les liquides cœlomiques et sanguins. Cet auteur a néanmoins mesuré la valeur de la pression osmotique de l'ensemble du liquide digestif, obtenu par centrifugation du contenu du tube digestif de plusieurs vers. En ce qui concerne l'étude des anions et cations présents dans les milieux intérieurs des oligochètes, là encore, les mesures ont surtout porté sur le liquide cœlomique. Maluf (1940) serait toujours le premier auteur qui ait fait une série de mesures portant sur la teneur en ions chlorures, sulfate, calcium, potassium et sodium, du liquide digestif. De Puytorac & Mauret (1956) ont repris ces mesures avec l'idée de suivre les variations de cette pression osmotique dans les différents biotopes de Ciliés.

Les résultats existants, quelque peu anciens, montrent que plusieurs genres peuvent être présents simultanément, et échelonnés sans interruption dans un même ver, chacun d'eux y conservant sa zone de prédilection, qui peut, suivant le cas, partiellement interférer avec celle d'un autre cohabitant (Clementi, 1924 ; Maluf, 1939, 1940 ; Wolf, 1939, 1940 ; Stephenson, 1945 ; de Puytorac & Mauret, 1956). Qu'ils soient Astomes, Hétérotriches ou Hysterocinetidés, les protozoaires ciliés auraient donc chacun une localisation précise dans une partie bien délimitée du tube digestif, constante, plus ou moins restreinte ou plus ou moins étendue selon le groupe, le genre ou l'espèce considérés. Pour les Ciliés endocommensaux d'oligochètes du Cameroun, la connaissance sur leur condition écologique n'était jusqu'à lors pas clairement établie, même si plusieurs hypothèses avaient déjà été émises.

Le présent travail a été réalisé avec pour objectif global l'étude de l'endofaune microbienne et la détermination des paramètres physico-chimiques, susceptibles d'influencer sur sa sériation et son abondance le long du tube digestif d'annélides oligochètes, Glossoscolecidae, récoltés dans les localités d'Ebebda et de Nkolbikogo, dans la région du Centre Cameroun.

Les objectifs spécifiques assignés à ce travail consistent à :

❖ poursuivre l'étude morphologique et cytologique des Ciliés Hétérotriches, Hysterocinetidés et Astomes;

❖ évaluer la variation de d'abondance de virus et de bactéries dans les portions antérieure, moyenne et postérieure du tube digestif des oligochètes par la cytométrie en flux ;

❖ mesurer les paramètres physico-chimiques (potentiel d'hydrogène, conductivité électrique, teneur globale en substances dissoutes, teneur en eau, nitrates, nitrites, azote ammoniacal et orthophosphates) du liquide intestinal et du contenu digestif des portions antérieure, moyenne et postérieure du tube digestif des vers ;

❖ évaluer la variation d'abondance des Ciliés dans les différentes portions du tube digestif de leurs hôtes, corrélées aux paramètres physico-chimiques afin d'établir la corrélation entre paramètres physico-chimiques et biologiques.

Hors-mis l'introduction, la conclusion et les perspectives, ce travail est subdivisé en trois chapitres. Le premier est une revue de la littérature qui, en situant le thème, insiste sur les Ciliés dans leurs généralités et plus particulièrement sur les Ciliés endocommensaux d'annélides oligochètes. Le second renseigne sur le cadre géographique du site de récolte des hôtes de Ciliés. Ce chapitre présente également le matériel et les méthodes ou techniques utilisés. Le dernier est consacré à la présentation des résultats obtenus suivie d'une discussion.

**CHAPITRE I :**  
**REVUE DE LA LITTERATURE**

# CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE

## I.1- Généralités sur les Ciliés

### I.1.1- Structure générale, répartition écologique

Autrefois appelés infusoires, les Ciliés sont des organismes unicellulaires dicaryotiques très évolués et complexes constituant le phylum des Ciliophora du règne des Protistes (Margulis *et al.*, 1990). Ce sont des organismes microscopiques dont la taille varie entre 10 et 600 µm. Certaines espèces sont cependant visibles à l'œil nu (1 à 4 mm) ; c'est le cas de *Mesnillella trispiculata* qui mesure environ 3 mm (Kijenskij, 1925). Les Ciliés sont des organismes cosmopolites qui vivent dans les milieux humides : sol, sédiment, milieu aquatique. Ils regroupent un ensemble de caractères qui leur sont propres et qui les distinguent des autres Protistes (Lynn & Corliss, 1991) :

- la présence des cils ou organelles ciliaires au moins à un stade de leur développement. Les cils de la région somatique servent à la locomotion tandis que ceux de la région buccale créent un courant d'eau qui amène la nourriture dans la bouche (Corliss, 1972). Ces organelles ciliaires peuvent être simples ou complexes ;

- la présence de deux types de noyaux à morphologie et fonctions distinctes :

- le macronoyau, polyploïde et unique, régularise le métabolisme de la cellule ; il est impliqué dans la vie végétative. Il est plus volumineux et contient des gènes qui codent toutes les protéines nécessaires aux fonctions vitales du Cilié ; c'est un noyau à très forte activité de transformation ;

- le micronoyau, diploïde, intervient uniquement dans la reproduction sexuée ; il contient une faible quantité d'ADN. Contrairement au macronoyau, le micronoyau a une faible activité de transformation. On peut suivant les espèces, trouver chez le même individu un ou deux micronoyaux.

Les Ciliés vivent dans des biotopes très variés. En effet, on distingue des formes libres qui peuplent les plans d'eaux lotiques et lentiques, ainsi que les zones humides et les formes qui vivent fixées sur des supports et perdent une partie ou même la totalité de leurs cils. En plus de ces formes, il existe :

- des formes parasites telles *Balantidium coli* qu'on rencontre dans le tube digestif du porc et parfois chez l'homme où il est pathogène ;

- des formes symbiotiques vivant dans la panse des ruminants et des équidés ;

- des formes endocommensales qui sont largement représentées dans le tube digestif des annélides oligochètes et dans l'ampoule rectale des Batraciens.

### **I.1.2- Biologie**

Les Ciliés, comme tous les autres Protistes sont des organismes unicellulaires et par conséquent doivent assurer la totalité de leurs fonctions vitales (nutrition, locomotion, reproduction, etc.).

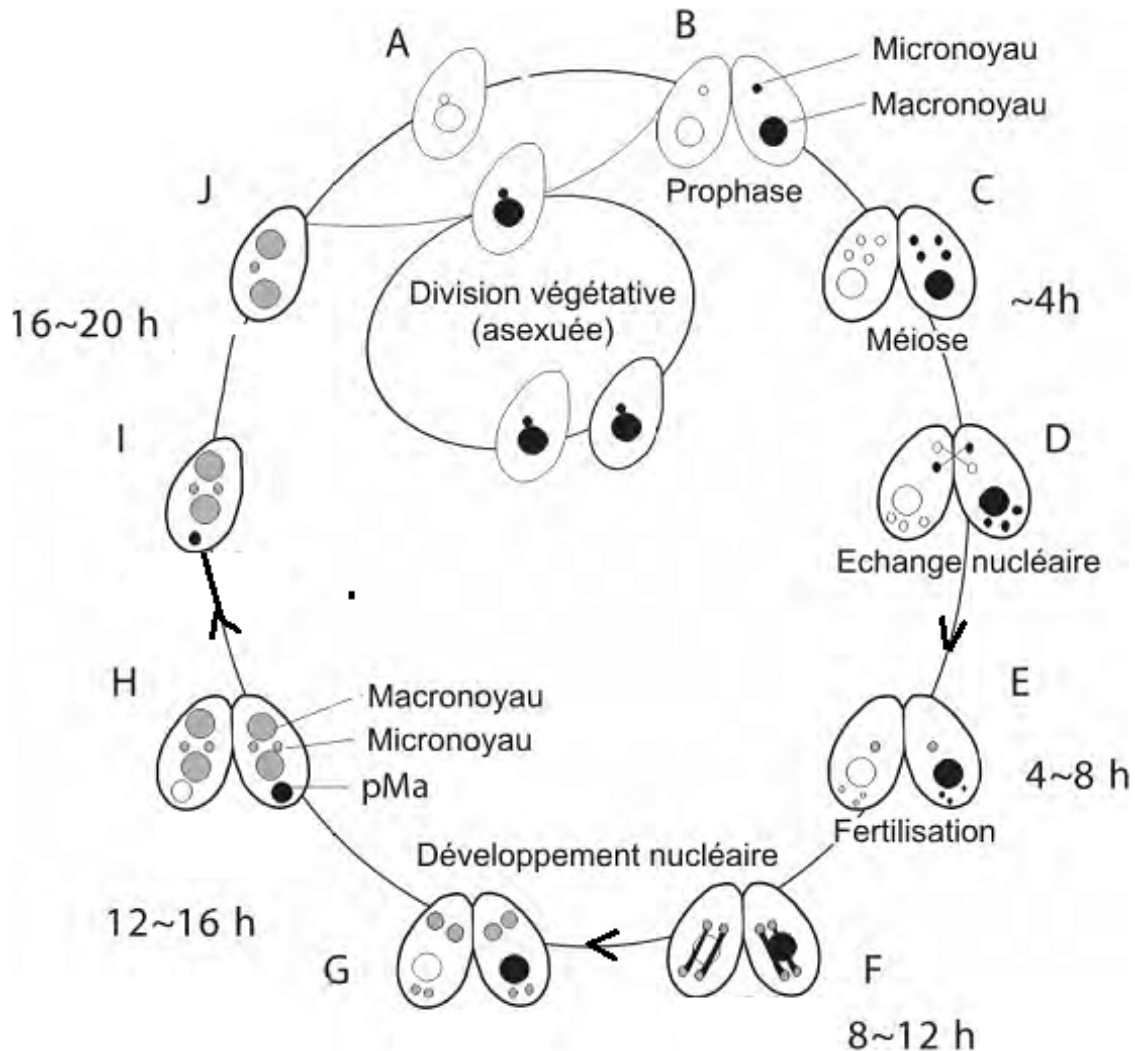
Les Ciliés présentent un comportement alimentaire très variable d'un groupe à l'autre. Le mode de nutrition est soit la phagotrophie, soit l'osmotrophie (Nilson, 1979). Ils se déplacent grâce à de nombreux cils qui recouvrent la totalité de la surface de la cellule. Présentant la même structure que les flagelles, les cils sont nettement plus courts et plus abondants. Ils sont implantés sur des lignes appelées cinéties. Tous les cils d'une cinétie battent l'un après l'autre, provoquant la propulsion du Cilié.

Le mode de reproduction des Ciliés le plus courant est la reproduction asexuée qui se fait, à quelques exceptions près, par division binaire transversale. La conjugaison est un mode de reproduction extrêmement rare. On trouve dans la nature très peu d'infusoires ciliés qui font spontanément cette reproduction sexuée, exception faite chez *Paramecium caudatum*. Les Ciliés se reproduisent donc de deux manières différentes (Fig. 1) :

- La reproduction dite asexuée ou scission binaire, la plus courante qui consiste en une division transversale permettant d'obtenir deux cellules filles pratiquement identiques à partir d'une cellule mère. La polarisation des Ciliés implique une scission binaire, en général selon un plan équatorial, ce qui entraîne des mécanismes de morphogénèse différents selon les espèces (Vdacny & Foissner, 2009). Quand deux Ciliés de types sexuels (les types sexuels seront définis par la présence d'allèles distincts dans une région spécialisée du génome des organismes) différents se rencontrent, il peut se produire le phénomène de conjugaison. Selon le principe de la conjugaison, le (ou les) micronoyau subit une division méiotique aboutissant à quatre micronoyaux haploïdes. Trois de ces noyaux se désagrègent et le noyau restant subit une division mitotique. Le noyau dit stationnaire reste dans la cellule, tandis que l'autre migre dans la cellule associée et fusionne avec le noyau stationnaire de celle-ci pour former un noyau zygote diploïde (Fig. 1).

Le noyau diploïde se divise ensuite de façon mitotique et un des noyaux qui en résultent devient le nouveau micronoyau, tandis que l'autre se différencie pour donner un nouveau macronoyau. L'ADN de l'ancien macronoyau est vraisemblablement éliminé par un mécanisme similaire à celui de l'apoptose (Jahn & Klobutcher, 2002 ; Gordeeva *et al.*, 2004).

Le cycle cellulaire des Ciliés ne se réduit pas seulement à ces deux modèles bien qu'ils soient prépondérants. En effet, chez certaines espèces, le processus de division sexuée se produit par autofécondation d'un seul organisme, on parle alors d'autogamie ; alors que la division asexuée peut aussi se faire par bourgeonnement ou fissions multiples.



**Figure 1 : Cycle cellulaire de *Tetrahymena thermophila* (Akematsu & Endoh, 2010).**

**A:** phase végétative durant laquelle le Cilié se divise de façon asexuée ; **B:** deux Ciliés de types sexuels différents se préparent à la conjugaison, prophase méiotique ; **C:** méiose des micronoyaux ; **D:** échange nucléaire. Un des quatre micronoyaux se divise par mitose pour former deux pronuclei, et un de ces pronuclei est échangé d'une cellule à l'autre ; **E:** Fertilisation, formation d'un syncaryon ; **F:** Les noyaux se divisent successivement deux fois ; **G:** Les noyaux antérieurs se différencient en un nouveau macronoyau, alors que les noyaux dans la partie postérieure forment les futurs micronoyaux ; **H:** le macronoyau parental (pMA) migre dans la partie postérieure et commence à se détériorer ; **I:** les cellules filles se séparent ; **J:** un des deux micronoyaux est éliminé.

- L'enkystement est un processus induit par un état de stress qui permet à la cellule végétative d'échapper temporairement à des conditions environnementales défavorables: le jeûne, la dessiccation, la prédation (Gutierrez *et al.*, 2003). Certaines espèces de Ciliés subissent, pendant leur cycle sexuel, un état transitoire par la formation d'un zygokyste, une forme cellulaire se rapprochant du kyste mais ne possédant pas de membrane externe. Cette forme permet d'étudier les réarrangements lors de l'enkystement (Fryd-Versavel *et al.*, 2010).

### **I.1.3- Classification**

D'après de Puytorac (1994), les Ciliés sont classés au sein du phylum Ciliophora Doflein, 1901 qui récence trois sous-phyla (Annexe 1) :

- Sous phylum Tubulicorticata de Puytorac *et al.*, 1993 qui regroupe 3 super classes, 6 classes, 12 sous classes, 29 ordres, plusieurs familles et plusieurs genres.

- Sous phylum Filicorticata de Puytorac *et al.*, 1993 qui englobe 2 classes, 8 ordres, des familles et genres.

-Sous phylum Epiplasmata de Puytorac *et al.*, 1993 qui regroupe 2 super classes, 3 classes, 13 sous classes, 33 ordres, plusieurs familles et plusieurs genres.

### **I.1.4- Fonctions**

Les Ciliés sont des organismes zooplanctoniques. A cause de leur grande intimité avec leur milieu naturel, et de leur très grande sensibilité aux variations des conditions prévalant dans ces milieux, ils subissent des changements au contact des agents polluants et à l'apparition du moindre dysfonctionnement.

Sur le plan environnemental, les Ciliés sont de bons indicateurs de la pollution organique. Ils constituent d'excellents indicateurs de pollution organique des milieux aquatiques (Foissner, 1988). Cairns (1978) aux U.S.A. ; Foto Menbohan (1989), Foto Menbohan & Njiné (1998), Zébazé Togouet *et al.* (2006) au Cameroun par exemple utilisent les Ciliés comme bioindicateurs de pollution des cours d'eau et des lacs. Selon Sparagano & Grolière (1991), les Ciliés réagissent rapidement au rejet des polluants. A cet effet, ils se prêtent à la détermination du degré de saprobie de l'eau. Bick (1973) et Foissner (1988) publient de nombreuses listes d'espèces caractérisant des milieux de degré de trophie différents. Les Ciliés et autres zooplanctons (Rotifères et Cladocères) peuvent être utilisés comme biofiltreurs. Ces organismes sont responsables du comportement autoépurateur des eaux. Beauchamp (1965) a suggéré que ces organismes soient industriellement utilisés à cet effet. De nombreux travaux ont ainsi été réalisés sur les boues activées contenant l'un ou plusieurs de ces peuplements en Pologne (Klimowicz, 1962) en Grande-Bretagne (Doohan,



1975) et au Japon (Sudzuki, 1981). Nola *et al.* (2003), travaillant en microcosme ont montré que les protozoaires ciliés, par leur grande capacité de broutage des bactéries peuvent être utilisés pour l'épuration des eaux polluées. Certains Ciliés peuvent concentrer plusieurs grammes de pesticides persistants et d'autres produits apparentés (Cooley *et al.*, 1972). Ils participent activement à l'autoépuration des milieux naturels et à l'épuration biologique. Les Ciliés sont donc d'une importance environnementale indéniable.

Au niveau du réseau trophique, les Ciliés et autres organismes zooplanctoniques représentent le lien dans les chaînes alimentaires aquatiques entre les algues et les consommateurs de niveaux trophiques supérieurs (Sanders *et al.*, 1989 ; Frontier & Pichot-Viale, 1991 ; Sarma *et al.*, 1998). A cet effet, les Ciliés constituent souvent les plus grands consommateurs d'algues (Weisse & Muller, 1998) avant d'être eux même de source de nourriture pour les autres organismes zooplanctoniques (Ribes *et al.*, 1998, 1999). Ce sont des organismes très importants dans le processus de transport et de transfert des nutriments dans le réseau trophique aquatique (Porter *et al.*, 1985 ; Fenchel, 1987). Lougheed & Chow-Fraser (1998) précisent qu'en dehors de ce rôle principal de lien vital dans le réseau trophique, ces organismes participent à la formation des détritiques et même à un enrichissement du milieu en nutriments et principalement en phosphore (Frontier & Pichot-Viale, 1991). Le zooplancton en général représente donc un élément essentiel à considérer en aquaculture (Piasecki *et al.*, 2004).

Sur le plan fondamental, le cilié *Tetrahymena* est un matériel de choix pour les études écotoxicologiques (métaux lourds, métalloïdes) en raison de la facilité qu'il offre pour la réalisation des examens cytologiques, biochimiques et physiologiques (Elliott, 1973). Par ailleurs, les Ciliés, offrent la possibilité de disposer d'un nombre illimité de cellules identiques à divers stades de développement. Ils sont devenus de ce fait un matériel de choix pour l'étude des structures et ultra structures, ainsi que pour l'élucidation des réactions biochimiques qui président au métabolisme de la cellule (Nanney, 1980 ; Gall, 1986). De nos jours, les infusoires ciliés en général sont d'excellents modèles biologiques dans l'étude moléculaire de la systématique de ce groupe d'êtres vivants (Zigui *et al.*, 2000 ; Lynn, 2003 ; Oona *et al.*, 2004 ; Rebecca *et al.*, 2006). La systématique des Ciliés Astomes jusqu'ici basée sur les analyses phénétiques a montré quelques limites pour des espèces morphologiquement semblables. Des travaux récents de Fokam *et al.* (2011) ont démontré de manière avérée l'importance des analyses moléculaires dans l'étude de la phylogénie chez les Ciliés Astomes, endocommensaux d'annélides oligochètes.

## I.2- Grands groupes de Ciliés endocommensaux des annélides oligochètes

### I.2.1- Hétérotriches

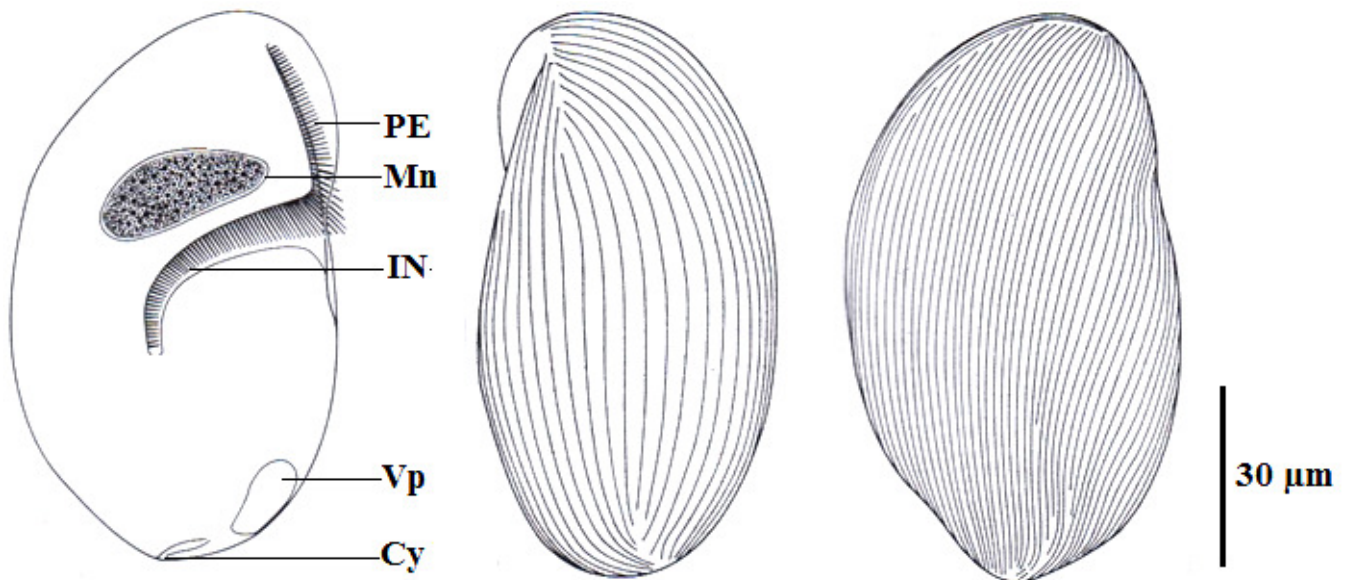
La découverte des Hétérotriches endocommensaux remonte à l'époque des premières observations microscopiques, mais il a fallu attendre le XIX<sup>e</sup> siècle pour que des descriptions suffisamment précises permettent leur identification (Stein, 1859).

Ces infusoires qui vivent dans l'intestin d'un grand nombre d'invertébrés et de vertébrés appartiennent à l'ordre des Heterotrichida Stein, 1859 ; sous-classe des Spirotricha Butschli, 1889 et classe des Polyhymenophora Jankowski, 1967. Ils se rattachent à 7 familles (Metopidae Kahl, 1930 ; Stentoridae Butschli, 1889 ; Plagiotomidae Butschli, 1887 ; Clevelandellidae Kidder, 1938 ; Inferostomatidae Ha Ky, 1971 ; Nyctotheridae Amaro, 1972 ; Sicuophoridae Amaro, 1972).

Les Hétérotriches sont des cellules aplaties latéralement (Plagiotomidae) ou obliquement (Nyctotheridae, Sicuophoridae), car la compression plus ou moins importante qui affecte la cellule s'effectue selon un plan qui n'est jamais confondu avec le plan sagittal (Albaret, 1975). On distingue aussi des Ciliés réniformes à pôle postérieur plus arrondi que le pôle antérieur ; les Ciliés ovoïdes à pôle postérieur fréquemment plus arrondi que le pôle postérieur ; les Ciliés allongés et très comprimés latéralement (Fig. 2). Les dimensions cellulaires sont très variables.

L'appareil nucléaire est constitué d'un macronoyau plus ou moins globuleux (*Nyctotherus hoyoi*) ou aplati en forme de lentille biconvexe (*Nyctotherus inflatu*) et un micronoyau ovoïde ; de diamètre variable ; situé soit au dessus du macronoyau et en avant de celui-ci, soit à sa droite.

Ces Ciliés ont un appareil buccal comportant 4 parties : le péristome ; l'infundibulum ; le cytostome ; le cytopharynx, à l'exception des Plagiotomidae qui en sont dépourvus. La frange adorale de membranelles s'étend de l'extrémité antérieure du péristome au cytostome et les deux parorales sont situées au niveau de l'infundibulum sur sa paroi droite ; la plus proche du plafond de l'infundibulum est la parorale antérieure, la seconde, la parorale postérieure.



**Figure 2: Morphologie générale et ciliature somatique des ciliés Hétérotriches du genre *Nyctotheroides* Albaret, 1975.**

**A** : morphologie générale de *N. rhacophoni* ; **B** : ciliature de la face gauche de *N. seriei* ; **C** : ciliature de la face droite de *N. dendrobatidis* ; **Cy** : cytoproct ; **IN** : infundibulum ; **Mn** : macronoyau ; **PE** : péristome, **VP** : vacuole pulsatile

Le nombre de cinéties est très variable ; selon la taille des individus, on compte 200 à 300, également réparties sur les deux faces latérales. Albaret (1975) rappelle que la topographie ciliaire des Hétérotriches en général dispose d'un système sécant qui un affrontement régulier des extrémités des cinéties somatiques interrompues avant d'atteindre l'un ou l'autre des pôles de la cellule. Il distingue: un système sécant préoral qui s'étend de l'extrémité antérieure du péristome à l'apex de la cellule ; des systèmes sécants apicaux qui prennent naissance sur les faces latérales et se terminent à l'apex de la cellule, pour le système sécant apical droit, et à l'extrémité antérieure du péristome ou à l'apex de la cellule, lorsqu'il n'y a pas de système sécant préoral, pour le système apical gauche ; et des systèmes sécants caudaux qui naissent sur les faces latérales et se terminent au pôle postérieur. Chez un certain nombre d'espèces, on observe en arrière de l'ouverture infundibulaire une disposition plus ou moins régulière des cinéties somatiques. En outre, chez le genre *Inferostoma* et chez *Nyctotherus schulmani*, Ha Ky (1971) a mis en évidence un système sécant équatorial sur la face droite.

## I.2.2- Hysterocinetidés

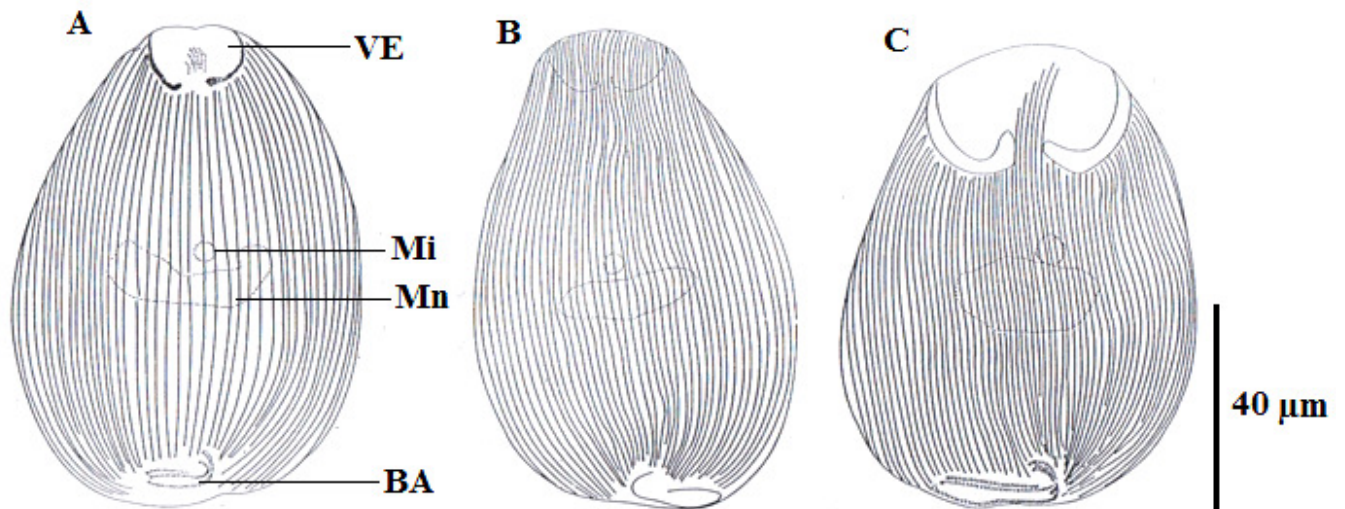
La découverte des Ciliés Hysterocinetidés remonte à 1860 avec la description par Stein du genre *Ptychostomum*. Plus tard, Diesing (1866) fait connaître le genre *Hysterocineta*. Il faudra ensuite attendre 1949 pour que Raabe agrandisse la famille avec trois nouveaux genres : *Protoptychostomum*, *Kysthothigma* et *Cotylothigma*. Meier (1954) décrit le genre *Elliptothigma*. Kozloff (1960) redécrit le genre *Hysterocineta* et montre l'organisation de l'appareil buccal : celui-ci est formé d'une partie péristomienne composée du côté paroral, d'une membrane ondulante ayant une simple rangée de cinétosomes et, du côté opposé, adoral, de deux bandes ciliaires rectilignes et parallèles ; dans la partie péristomienne, il y aurait ainsi trois bandes de cinétosomes. C'est également à Kozloff (1960) que revient le mérite de décrire la partie infundibulaire de l'appareil buccal ; la bande adorale la plus proche de la membrane ondulante poursuit son trajet dans l'infundibulum, tandis que la plus éloignée s'interrompt à son entrée, entre les deux bandes précédentes qui se sont engagées dans l'infundibulum en un conduit spiralé, s'intercale une troisième. Ainsi, dans le couloir infundibulaire, sont disposées trois bandes de cinétosomes.

Kozloff (1965) décrit aussi les genres *Craticuloscuta* et *Epicharocotyle* en insistant sur l'architecture fibrillaire de la ventouse d'une part, et, d'autre part, en soulignant déjà l'uniformité de l'organisation buccale de ciliés Hysterocinetidés.

De Puytorac (1968a) a créé les genres *Thurstonia*, *Kozloffia*, *Preptychostomum*, précise la diagnose des genres décrits par ses prédécesseurs et révisé la systématique des Ciliés Hysterocinetidés basée, selon lui, surtout sur l'architecture de la ventouse.

En général, les Ciliés Hysterocinetidés sont caractérisés par (Fig. 3) :

- un aplatissement latéral très marqué du corps densément cilié ;
- la présence dans la région apicale et sur la face latérale gauche de la cellule, d'une aire thigmotactique jouant le rôle de ventouse et le plus souvent pourvue d'une armature squelettique complexe ;
- la situation de l'appareil buccal reportée sur l'extrême marge postérieure de l'infusoire ;
- la constitution de l'appareil buccal comprenant une partie péristomienne, parallèle à la limite postérieure de la cellule, suivie d'une partie infundibulaire spiralée redressée à 90° et s'étendant vers la région médiane du Cilié.



**Figure 3: Morphologie générale et ciliature somatique de quelques ciliés**

**Hysteroconetidés des genres *Preptychostomum* de Puytorac, 1968a et *Amietia* Ngassam & Grain, 1998.**

**A :** face inférieure *Preptychostomum microstomum* Ngassam, Grain & Njiné., 1993; **B :** face supérieur *Preptychostomum magnum* Ngassam, Grain & Njiné., 1993; **C :** face inférieure *Amietia prolifera* Ngassam & Grain, 1998 ; **BA :** appareil buccal ; **Mi :** micronoyau ; **Mn :** macronoyau ; **VE :** ventouse.

### I.2.3- Astomes

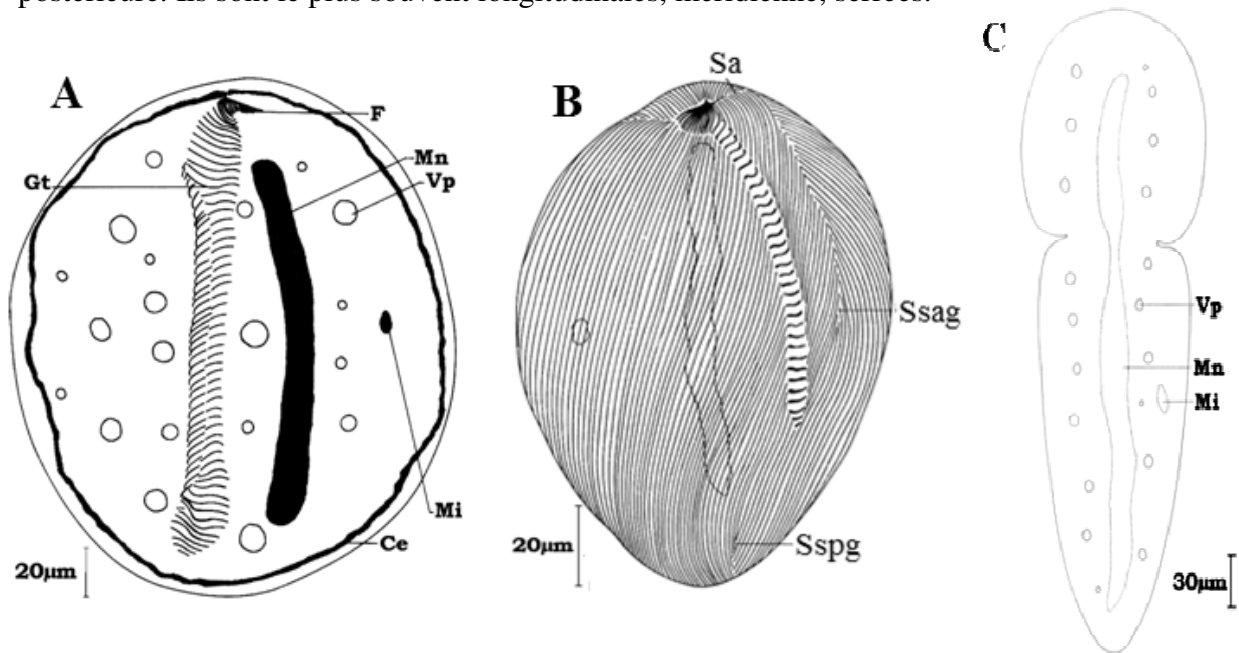
Les Astomes sont tous endocommensaux du tube digestif, pour la plupart d'invertébrés et plus particulièrement d'oligochètes, mais aussi de Batraciens. Leur écologie va de pair avec une différenciation anatomique et physiologique généralement marquée par l'absence de bouche. Une autre adaptation morphologique à la fixation aux tissus de l'hôte consiste en la présence fréquente de zones ciliaires définies, thigmotactiques ou en l'existence possible d'appareils squelettiques complexes ou en la combinaison de plusieurs de ces dispositifs.

La morphologie des Ciliés Astomes se réduit à deux types de formes dominantes (Fig. 4) :

- Les cellules de contour elliptique ou ovalaire, larges, sont plus ou moins aplaties selon les deux faces principales ; c'est le cas des genres *Sigmophrya*, *Anoplophrya*, *Metaradiophrya* et *Eudrilophrya* de Puytorac, 1969b. Dans l'ensemble, ces Ciliés vivent plaqués contre la paroi du tube digestif de l'hôte ;

- Les cellules à corps cylindroïde et allongé : cas des genres *Maupasella*, *Buchneriella*, *Juxtaradiophrya*, *Hoplitophrya* de Puytorac, 1969b. Généralement, les cellules de cette forme sont celles qui adhèrent à l'épithélium digestif de leur hôte, uniquement par leur extrémité antérieure, le reste du corps étant libre dans le tube digestif.

Les cils recouvrent la totalité du corps, sauf, le plus souvent, une aire antérieure plus ou moins restreinte, de forme variable suivant les espèces et, parfois, en outre, une calotte postérieure. Ils sont le plus souvent longitudinales, méridienne, serrées.



**Figure 4: Morphologie générale de quelques Ciliés Astomes**

**A** : morphologie générale *Coelophrya coronata* Fokam,Ngassam, Boutin & Zébazé Togouet, 2008 ; **B** : ciliature somatique et disposition du cytosquelette *Coelophrya ebebdensis* Fokam,Ngassam, Boutin & Zébazé Togouet, 2008 ; **C** : *Paraclausilocola constricta* Fokam, Ngassam, Strüder-Kypke & Lynn, 2011; **Ce** : couronne ectoplasmique ; **F** : fibres squelettique ; **Gt** : gouttière ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **Vp** : vacuole pulsatile ; **Sa** : ligne de suture antérieure ; **Sspg**: système sécant postérieur gauche ; **Ssag**: système sécant antérieur gauche.

L'appareil nucléaire est constitué d'un macronoyau toujours important, allongé dans l'axe de la cellule, d'une extrémité à l'autre de cette dernière ; d'un micronoyau généralement unique et petit (Fig. 4).

- Le macronoyau est toujours unique, il se présente comme un long ruban, de section transversale elliptique ou circulaire, étalé dans l'axe médian de la cellule. Il est très riche en nucléoles. Ses bords sont repliés en gouttière chez *Durchoniella* et il présente parfois des

expansions latérales : cas des genres *Maupasella vacuolata* Kaczanowski, 1961, *Mrazekiella costata* Kaczanowski, 1961, *Helella rhizodrili* Kaczanowski, 1961. Chez les *Almophrya*, le macronoyau a une forme en H ou en X avec des branches portant de nombreuses excroissances irrégulières (Puytorac & Dragesco, 1968a).

- Le micronoyau généralement unique, est le plus souvent petit, situé contre le macronoyau ou dans son voisinage, dans la région médiane de la cellule ou dans la partie postérieure de cette dernière. Chez certains *Almophrya*, sont présents deux micronoyaux et chez certains *Haptophryidae*, on en dénombre deux à trois.

L'appareil pulsatile, toujours très développé, est dans l'ensemble constitué par une rangée longitudinale de vacuoles. Le plan de division de la cellule est équatorial, subéquatorial ou postérieur, ce qui peut aboutir à la production des chaînes de satellites.

### **I.3- Généralités sur les oligochètes**

Les vers de terre sont reconnus comme des êtres vivants appartenant au Phylum des Annelida. Celui-ci regroupe de nos jours près de 1800 espèces décrites (Gobat *et al.*, 2003).

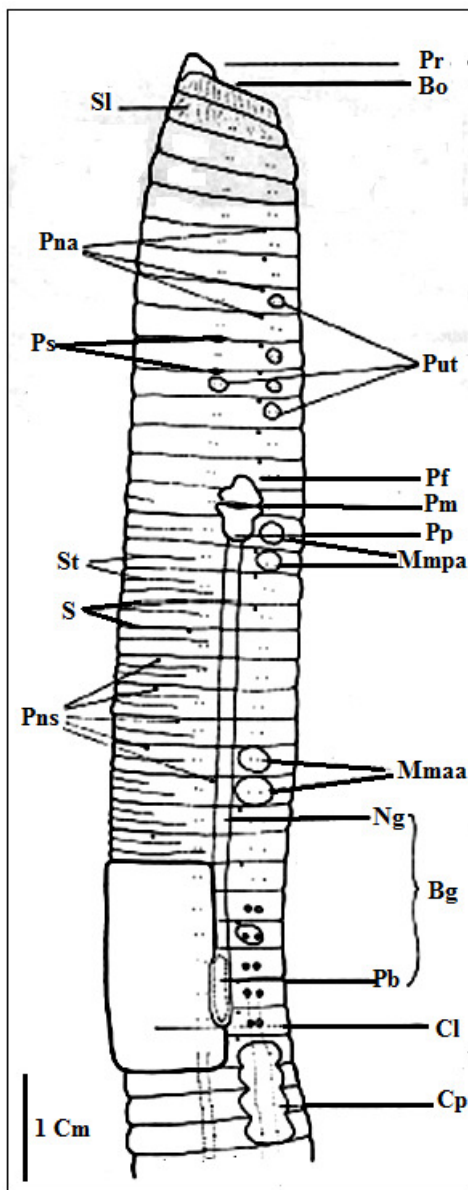
Les annélides oligochètes sont des animaux typiquement métamérisés, à symétrie bilatérale. Le système nerveux est constitué d'un cerveau dorsal par rapport à la bouche, relié à une chaîne nerveuse ventrale par une paire de commissures péripharyngiennes. Le tube digestif est complet avec une bouche et un anus. Le système excréteur est du type néphridien sans connexion avec l'appareil génital. Ce sont des animaux hermaphrodites qui possèdent des organes génitaux très différenciés. A maturité sexuelle, l'épiderme des segments génitaux forme un bourrelet glandulaire, le clitellum, sécrétant un cocon qui protège les œufs après la ponte (Edwards & Bohlen, 1996). L'appareil circulatoire est bien différencié et distinct du coelome. La segmentation de l'œuf est du type spiral avec des modifications inhérentes. Le développement est direct, sans la larve trochophore, typique du développement des Polychètes. Les phénomènes de régénération et de multiplication asexuée sont fréquents, surtout chez les Megascolecidae (Sims & Gerard, 1999).

#### **I.3.1- Morphologie externe**

Les annélides oligochètes sont repartis principalement en cinq familles à travers le monde, les plus fréquents appartiennent à la famille des Lumbricidae avec près de 220 espèces (Martin, 1990). En Afrique, parmi les oligochètes terricoles, les représentants des familles des Glossoscolecidae, Megascolecidae et Lumbricidae prédominent. Ce sont des organismes ayant pour habitat les sols humides et les eaux douces où les températures varient peu. Le corps, long de 9 à 30 centimètres, a un diamètre moyen de 6 à 9 millimètres

(Beaumont & Cassier, 1998a) ; vermiforme et annelé, la majeure partie du corps est cylindrique et s'effile vers l'avant alors que la partie postérieure, aplatie dorso-ventralement, et tronquée (Fig. 5).

Le nombre de segments est très différent selon les espèces, il peut varier de quelques dizaines à quelques centaines. Antérieurement est différencié un lobe, dépourvu de cœlome, ou prostomium. Le premier segment ou péristomien porte la bouche et est dépourvu de soies. Les autres segments portent généralement quatre faisceaux de soies. A maturation sexuelle, se différencie un épaissement de l'épiderme dans la région génitale : la selle ou clitellum. A ce niveau, le corps est plus large. Chez certaines espèces on peut trouver des expansions jouant le rôle de branchies.



**Figure 5: Morphologie d'un oligochète (Bouché, 1972).**

**Bo** : bouche ; **Bg** : bande génitale ; **Cl** : clitellum ; **Cp** : coussin puberculien ; **Mmaa** : mamelons antiarrhéniques ; **Mmpa** : mamelons périarrhéniques ; **Ng** : nervure génitale ; **Pb** : puberculum ; **Pf** : pore femelle ; **Pm** : pore mâle ; **Pna** : pores néphridiens alignés ; **Pns** : pores néphridiens en solfège ; **Pp** : porophore ; **Pr** : prostomium ; **Ps** : spermatophores ; **Put** : pustules périthécales ; **S** : scissures ; **SI** : sillon longitudinal ; **St** : sillons transversaux.

Les vers de terre ont le corps enrobé d'un mucus sécrété par des cellules épidermiques spécialisées. Ce mucus sert de lubrifiant et facilite les déplacements de l'animal dans ses



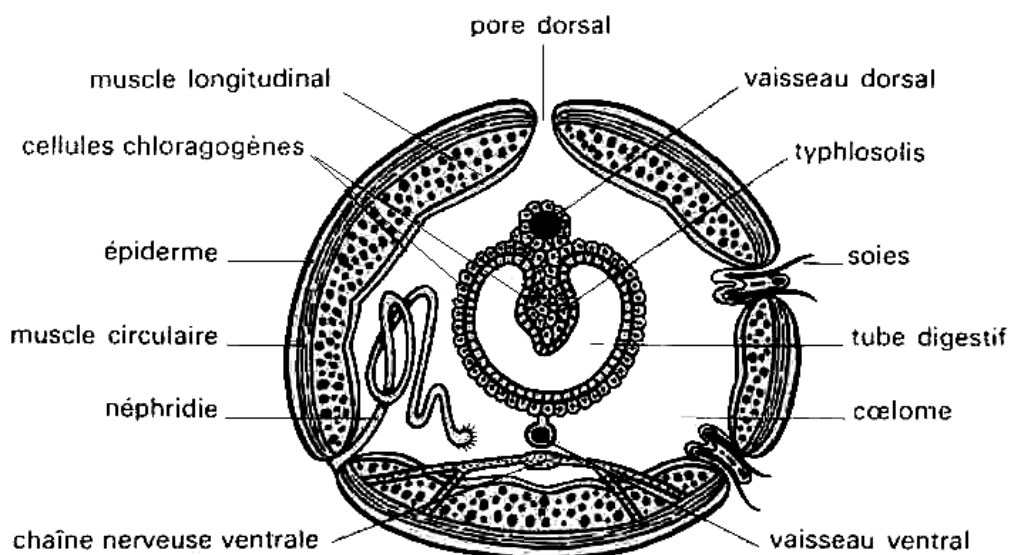
galeries souterraines ; il maintient également la surface du corps continuellement humide, condition indispensable aux échanges respiratoires (Beaumont & Cassier, 1998b).

Le prostomium a vraisemblablement un rôle tactile. Il porte souvent des soies sensorielles. Il peut se développer jusqu'à former une sorte de trompe, le proboscis, comme chez *Lumbricus* (Lumbricidae).

Le clitellum est une formation glandulaire d'origine épidermique qui se développe à maturité sexuelle au niveau des segments génitaux (segments 9 à 15). Les orifices génitaux s'ouvrent à son niveau, généralement ventralement. La fonction du clitellum est de sécréter, lors de la ponte, un cocon qui protège les œufs (Bouché, 1972).

### I.3.2- Anatomie

Une coupe transversale dans la paroi du corps permet d'observer cinq couches bien différenciées (Brinkhurst & Jamieson, 1971). Sous une cuticule externe peu épaisse se trouve une assise épidermique constituée de cellules plus ou moins cubiques et de cellules glandulaires qui prennent une grande importance dans la région du clitellum. Sous l'épiderme se distinguent deux couches musculaires : l'une vers l'extérieur, est constituée de fibres circulaires, l'autre, vers l'intérieur, de fibres longitudinales (Fig. 6). Un épithélium péritonéal tapisse la face interne de la paroi du corps.



**Figure 6 : Coupe transversale d'un oligochète (Bouché, 1972)**

Le cœlome est une cavité spacieuse qui s'étend tout le long du corps et dans laquelle les différents organes sont soutenus par des cloisons issues de la paroi du corps : les septa. Un

septum est constitué d'une couche musculaire centrale et de deux couches épithéliales. Chaque septum est traversé par un vaisseau dorsal et un vaisseau ventral, par le tractus digestif et la corde nerveuse ainsi que par une paire de tubules néphridiens. Les septa divisent la cavité en de nombreux segments qui contiennent le fluide cœlomique. Ce fluide joue le rôle d'un squelette hydrostatique qui donne une certaine rigidité à l'animal. Il véhicule des cellules libres, notamment des cellules phagocytaires. Il possède également un rôle excréteur intermédiaire en accumulant les produits d'excrétion qui seront concentrés et éliminés par les néphridies (Bouché, 1972).

Le système circulatoire est constitué d'un vaisseau dorsal contractile qui projette le sang d'arrière en avant. Ce vaisseau se divise en deux branches au niveau du cerveau. Ces branches confluent ventralement au niveau des segments 3 à 7, pour former un vaisseau ventral où le sang circule d'avant en arrière. Ces deux vaisseaux sont reliés dans chaque segment antérieur par deux anses vasculaires. Dans la partie postérieure, ils sont connectés par l'intermédiaire d'un plexus intestinal très dense. Chez les espèces possédant des branchies comme *Branchiodrilus cleistochaeta*, celles-ci sont irriguées par un vaisseau afférent provenant du vaisseau dorsal et un vaisseau efférent qui se jette dans le vaisseau ventral (Horn *et al.*, 2003).

L'appareil excréteur est constitué de néphridies qui, en plus de leur rôle d'excrétion, ont une fonction d'osmorégulation (Gobat *et al.*, 2003). Elles sont généralement au nombre de deux par segment, sauf dans les segments les plus antérieurs et dans les segments génitaux. Une néphridie est constituée d'un pavillon cilié, le néphrostome, se prolongeant par un court canal qui traverse le septum et se jette dans une partie glandulaire contournée. Cette partie est suivie d'un tube grêle qui débouche à l'extérieur par un néphridiopore.

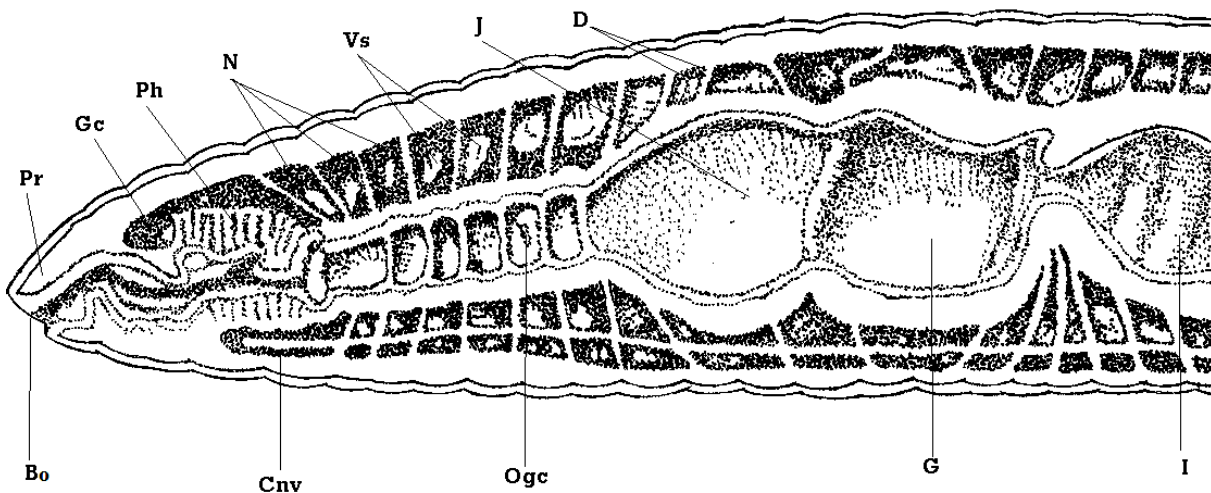
Les oligochètes ingèrent le sol contenant divers résidus organiques en décomposition ou bien divers débris végétaux à la surface du sol. Son tractus digestif est hautement adapté à sa nutrition (Cluzeau *et al.*, 2005).

Le tractus digestif est constitué d'une bouche ventrale s'ouvrant dans le premier segment. Elle est suivie d'un pharynx qui peut être dévaginable chez certaines espèces (Fig. 7). Le pharynx se prolonge par un intestin très vascularisé qui débouche postérieurement par un anus. Chez certaines familles, on peut trouver un estomac entre le pharynx et l'intestin (Horn *et al.*, 2003).

Le système nerveux est composé essentiellement d'un ganglion cérébroïde bilobé placé dorsalement par rapport à la bouche et d'une chaîne ventrale formée de deux nerfs

accolés, avec un ganglion dans chaque segment. Ces deux formations sont reliées antérieurement par une paire de connexions entourant le pharynx.

Le cerveau et la corde nerveuse ventrale innervent les organes des sens. Les cils sensoriels du prostomium sont innervés par des nerfs issus du ganglion cérébroïde, ainsi que les yeux rudimentaires chez certains Naïdidae (Edwards *et al.*, 1995).



**Figure 7 : Appareil digestif d'un oligochète (Bouché, 1972)**

**Bo** : bouche ; **Cnv** : chaîne nerveuse ventrale ; **D** : dissépiments ; **G** : gésier ; **Gc** : ganglion cérébroïde ; **I** : intestin ; **J** : jabot ; **N** : néphridies ; **Ogc** : orifice des glandes calicifères ; **Ph** : pharynx ; **Pr** : prostomium ; **Vs** : vésicules séminales.

### I.3.3- Cycle de vie

Tous les vers de terre sont hermaphrodites. Un échange de spermatozoïdes a lieu lors d'un accouplement (Fig. 8), qui se produit généralement à la surface du sol ou dans le sol, lorsque les conditions sont favorables. Quelques jours plus tard, le clitellum (partie renflée formant une bague sur le corps d'un ver de terre adulte) glisse le long de la partie antérieure du ver et le cocon, encore appelé œuf ou zygote, contenant des gamètes mâles et femelle, est émis dans le sol sous forme d'une capsule fermée aux deux extrémités.

Les cocons sont résistants aux conditions défavorables comme la sécheresse ou une modification de la température (Edwards & Bohlen, 1996). Parmelee & Crossley (1988) et Edwards *et al.* (1995) suggèrent qu'ils peuvent être, pour certaines espèces comme *L. rubellus*, les seules formes de vie existantes pendant les mauvaises périodes. Le dessèchement

du sol provoque la déshydratation du cocon, ce qui peut retarder le développement embryonnaire (Evans & Guild, 1948 ; Gerard, 1967).

Certaines espèces sont obligatoirement biparentales, comme *L. terrestris* (Fig. 8) alors que d'autres peuvent se reproduire sans accouplement, par auto-fertilisation ou parthénogénèse (Sims & Gerard, 1999). La parthénogénèse est une reproduction monoparentale à partir d'un seul gamète alors que l'auto-fertilisation nécessite l'intervention des deux gamètes, mâles et femelles, apportés par le même individu.

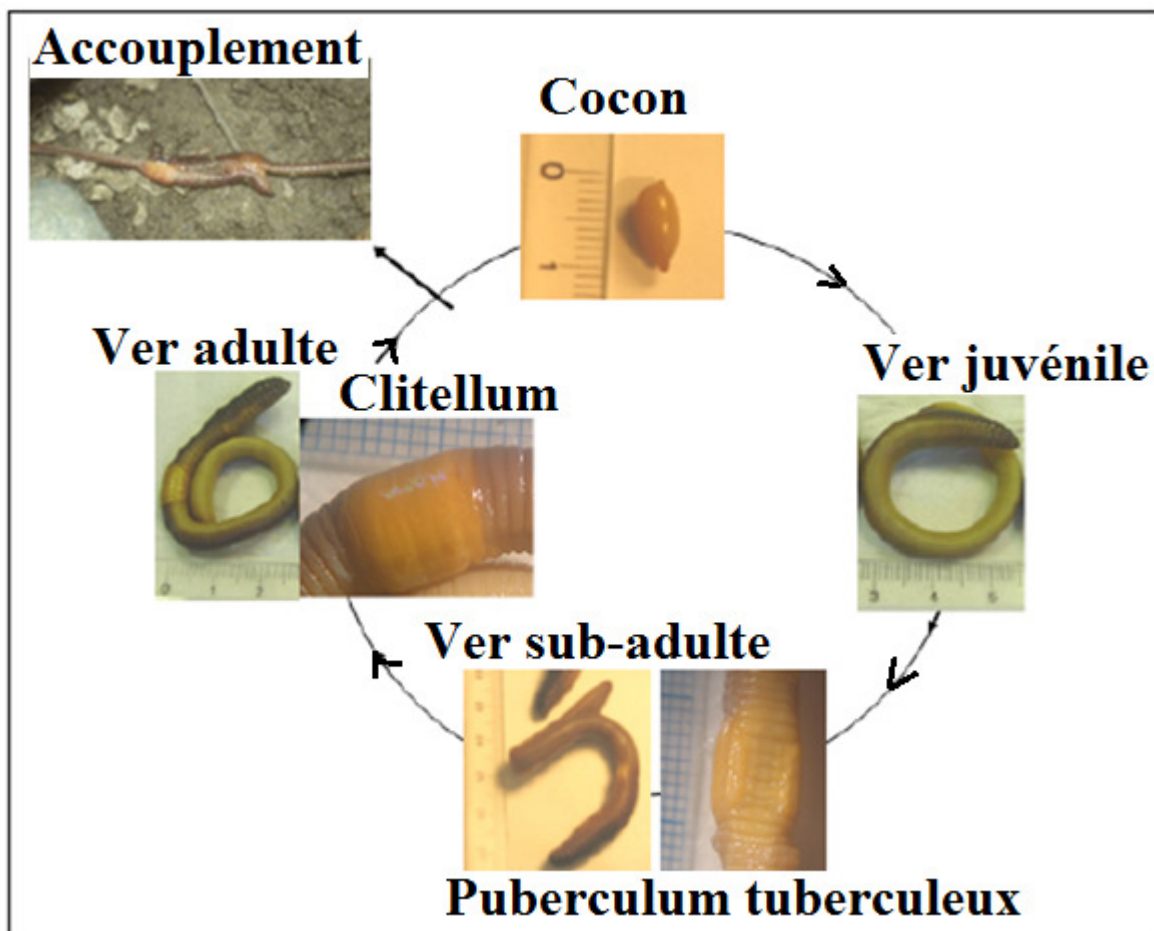


Figure 8 : Cycle de vie de *Lumbricus terrestris* (Pelosi, 2008)

Les vers adultes produisent plusieurs cocons par an, en fonction de leur âge (Svendsen *et al.*, 2005) et des conditions dans lesquelles ils se trouvent (Lee, 1985). Une synthèse de plusieurs études par Satchell (1967) montre qu'*Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea longa* et *Octalasion cyaneum*, qui sont des espèces anéciques ou endogées, produisent entre 3 et 13 cocons par an alors que les épigés *L. rubellus*, *Lumbricus castaneus* et *Dendrobaena rubida* sont capables d'en produire entre 42 et 106 par an. *L. terrestris* peut produire entre 101 et 253

cocons par an en fonction des conditions de température (Butt, 1991). Un ou plusieurs vers immatures, appelés juvéniles, éclosent quelques temps plus tard.

Butt (1993) montre que 20 % des cocons viables d'*O. cyaneum* produisent des jumeaux, comparé à 1 % pour *L. terrestris* et *A. longa*. Hartenstein *et al.* (1979) trouvent un nombre maximum de 11 vers par cocon pour *Eisenia fetida*. La durée d'incubation dépend des conditions climatiques (Holmstrup *et al.*, 1996) et des conditions de vie de l'adulte qui a produit ce cocon (Phillipson & Bolton, 1977).

Le ver juvénile va progressivement acquérir des caractères sexuels secondaires externes liés à l'accouplement comme le puberculum tuberculeux ou les pores sexuels il sera alors au stade sub-adulte.

Un clitellum, organe lié au processus de ponte, va ensuite se former et permettre au ver de devenir sexuellement mûre pour pouvoir se reproduire à son tour ; le ver est alors adulte. Le temps de maturation varie beaucoup entre espèces et dépend des conditions de milieu (température, humidité, nourriture). Boström & Lofs (1996) rapportent qu'un juvénile *A. caliginosa* devient mûre en 3 à 6 semaines. Dans son milieu naturel, *L. terrestris* devient mûre généralement en un an (Lakhani & Satchell, 1970) alors qu'il ne lui suffira que de quelques mois pour atteindre la maturité sexuelle en conditions de laboratoire (Daniel *et al.*, 1996 ; Lowe & Butt, 2002).

Les oligochètes ont une durée de vie qui dépend de l'espèce, de leur biotope et des conditions dans lesquelles ils vivent. En effet, un ver appartenant à l'espèce *L. terrestris* peut vivre plusieurs années en conditions de laboratoire (Lakhani & Satchell, 1970) alors qu'en conditions naturelles, et particulièrement en système cultivé, il est exposé à des risques qui diminuent son espérance de vie à quelques mois (Satchell, 1967). Suivant le groupe fonctionnel, les stratégies d'allocation de l'énergie varient entre les types r et k (Satchell, 1980). La stratégie de type r concerne les espèces à durée de vie courte donc plus spécifiquement les épigés, qui allouent tout d'abord leur énergie à la reproduction et à la croissance. A l'inverse, les stratégies k, principalement les endogés et les anéciques, privilégient la survie à la reproduction et à la croissance car ils ont une durée de vie plus longue.

La durée des quatre étapes fondamentales du cycle de vie des lombriciens (cocon, juvénile, sub-adulte et adulte) (Fig. 8), ainsi que la fécondité et la survie des vers dépendent fortement de l'espèce considérée mais aussi des conditions du milieu.

### **I.3.4- Importance**

Le Millenium assesement (Millenium Ecosystem Assessment, 2005) a été un moment décisif de cette prise de conscience de l'importance des services rendus par les organismes vivants du sol, non seulement à l'agriculteur mais également à l'ensemble de la société. Moonen & Bàrberi (2008) distinguent quatre catégories de services : la participation aux principaux processus physiques et biogéochimiques, les services liés au bon fonctionnement des réseaux trophiques, l'implication dans les flux de gènes et les effets directs sur la production.

Les vers de terre participent au processus de décomposition de la matière organique, améliorent la biodisponibilité des éléments minéraux, entretiennent la porosité du sol et accroissent la stabilité des agrégats. Leur rôle comme ressource trophique pour d'autres organismes vivants dans le champ cultivé, dont certains sont des auxiliaires des cultures, est invoqué et étudié de manière plus récente (Brookes *et al.*, 1995). Enfin, un certain nombre de travaux actuels mettent en évidence de nouveaux services à travers des effets directs ou indirects des populations de vers de terre sur les plantes (Scheu, 2003 ; Blouin *et al.*, 2005).

Pour ces raisons, les vers de terre sont appelés à jouer un rôle central dans la mise en œuvre des régulations biologiques au sein des agro systèmes, indispensables au développement d'une agriculture écologiquement intensive (Wall, 2004).

Une autre raison de s'intéresser à ces organismes du sol tient au fait que ce sont de bons candidats pour être des bio-indicateurs (Moonen & Bàrberi, 2008). En effet, le niveau de leur population est sensible aux techniques culturales, aux produits que l'on épand, à la qualité et à la quantité de la ressource en carbone, qui représentent des caractéristiques importantes de la durabilité des agro systèmes (Bockstaller *et al.*, 2008). Même si d'autres organismes vivants comme les microarthropodes par exemple (Van Straalen, 1998), sont également de bons prétendants, les vers de terre sont appelés à jouer également un rôle important dans la construction d'indicateurs biologiques de durabilité des systèmes agricoles (Richards *et al.*, 2007).

### **I.4 - Cytométrie en flux**

Le principe de la cytométrie en flux repose sur le guidage de cellules en suspension dans un flux laminaire liquide assurant leur passage « en file indienne » devant le système d'illumination, pour permettre leur analyse dans un temps très court, de l'ordre de quelques microsecondes.

La cytométrie en flux a largement contribué à l'exploration de la cellule, en combinant l'aspect analytique et préparatif. En association avec l'utilisation de sondes (fluorochromes, substrats fluorogènes, anticorps monoclonaux), elle permet de multiples investigations concernant notamment la caractérisation de populations cellulaires, l'exploration du fonctionnement cellulaire, l'analyse de constituants cellulaires (acides nucléiques, protéines, antigènes de surface ou intracellulaires, activités enzymatiques, potentiel membranaire, activité mitochondriale, pH intracellulaire, flux ioniques, fluidité membranaire...). Largement reconnue, la cytométrie en flux a détrôné la microscopie conventionnelle pour des applications particulières en immunologie, hématologie et cancérologie, notamment par le typage lymphocytaire et la mesure du contenu en ADN. La plupart des applications ont concerné la détection des antigènes membranaires et l'étude du cycle cellulaire. La cytométrie permettra de distinguer facilement des populations, parfois indifférenciables, au microscope par la présence de marqueurs membranaires spécifiques de populations. Ainsi, tous les lymphocytes T portent l'antigène CD3. Avec un anticorps anti-CD3 conjugué avec un fluorochrome, le cytomètre pourra classer les cellules selon l'intensité de la fluorescence. C'est la base de l'immunophénotypage et du tri cellulaire. La cytométrie en flux, après coloration des virus ou des cellules bactériennes au SYBRGreen® II (Marie *et al.*, 1997) est une méthode qui permet de distinguer les cellules les plus actives au sein des populations virales ou bactériennes sur la base de leur contenu en acides nucléiques (Gasol *et al.*, 1999 ; Lebaron *et al.*, 2001, 2002 ; Morin et Baatout, 2008).

## **I.5- Paramètres physico-chimiques du tractus digestif d'oligochètes**

### **I.5.1- Potentiel d'hydrogène**

Très peu de données sont connues en ce qui concerne le pH du liquide intestinal des oligochètes. Les premières données sont obtenues dès le XIX<sup>e</sup> siècle avec les travaux de Frederico (1878), de Darwin (1881) puis de Willem & Minne (1899). Dès le XX<sup>e</sup> siècle, Simm (1913) ; Krieg (1923) et Puh (1940) se sont investis à observer les variations d'acidité et d'alcalinité le long du tractus digestif des oligochètes, avec des mesures plus ou moins précises et des déterminations plus ou moins fragmentaires. Héran (1954) puis de Puytorac & Mauret (1956) avec beaucoup de minutie, se sont efforcés de suivre de très près (tous les dix segments) chez *Lumbricus terrestris* la valeur du pH, par les méthodes du papier pH, de l'électrode à la chinhydrone et de l'électrode de verre.

### **I.5.2- Pression osmotique, teneur globale en substances dissoutes et en sels minéraux**

Peu de travaux ont été effectués, dans l'ensemble, sur la détermination de la pression osmotique des différents milieux intérieurs chez les oligochètes, et, d'une façon générale, comme chez les polychètes, c'est essentiellement sur les liquides cœlomiques et sanguins qu'ont été dirigées les recherches, telles celles de Clementi (1924) qui s'est intéressé, à ce point de vue, à *Lumbricus terrestris*. Mais à notre connaissance, l'étude du liquide seul n'a été vraiment abordée, pour la première fois, que par Maluf (1940), bien que ce fut ainsi dans un but de comparaison d'ailleurs avec les liquides cœlomiques et sanguins. Cet auteur a néanmoins mesuré la valeur de la pression osmotique de l'ensemble du liquide digestif, obtenu par centrifugation du contenu du tube digestif de plusieurs vers. De Puytorac & Mauret (1956) ont repris ces mesures avec l'idée de suivre les variations de cette pression osmotique dans les différents biotopes de Ciliés.

En ce qui concerne l'étude des anions et cations présents dans les milieux intérieurs des oligochètes, les mesures ont surtout porté sur le liquide cœlomique. Maluf (1940) serait toujours le premier auteur qui ait fait une série de mesures portant sur la teneur en ions chlorures, sulfate, calcium, potassium et sodium, du liquide digestif.

### **I.5.3- Teneur en eau du contenu du tube digestif**

De nombreux auteurs (Maluf, 1939 , 1940 ; Wolf, 1939 , 1940; Stephenson, 1945) ont déjà étudié l'absorption de l'eau par les vers, les limites de gonflement qu'il est possible de leur faire atteindre ainsi que les relations entre les changements de volume et la concentration des liquides intérieurs, liquide cœlomique. L'intention de de Puytorac & Mauret (1956) n'était pas d'aborder ces problèmes de régulation, sur lesquels d'ailleurs, les résultats des précédents auteurs étaient parfois contradictoires. Ils les ont traité, à part, ultérieurement. Ils se sont proposés simplement de donner une idée des variations de consistance du milieu existant entre les quatre biotopes à ciliés et cela dans les conditions naturelles de vie des oligochètes.



## **CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES**

## CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

### II.1- Choix et présentation des sites de prélèvement des oligochètes

Les différentes campagnes de collecte des oligochètes ont été effectuées dans deux localités écologiquement distinctes de la région du Centre-Cameroun : Ebebda et Nkolbikogo (Fig. 9). Le choix de ces sites se justifie par leur accessibilité et par la présence effective et abondante, à toutes les saisons de l'année, des espèces d'annélides oligochètes qui font l'objet de nos travaux.

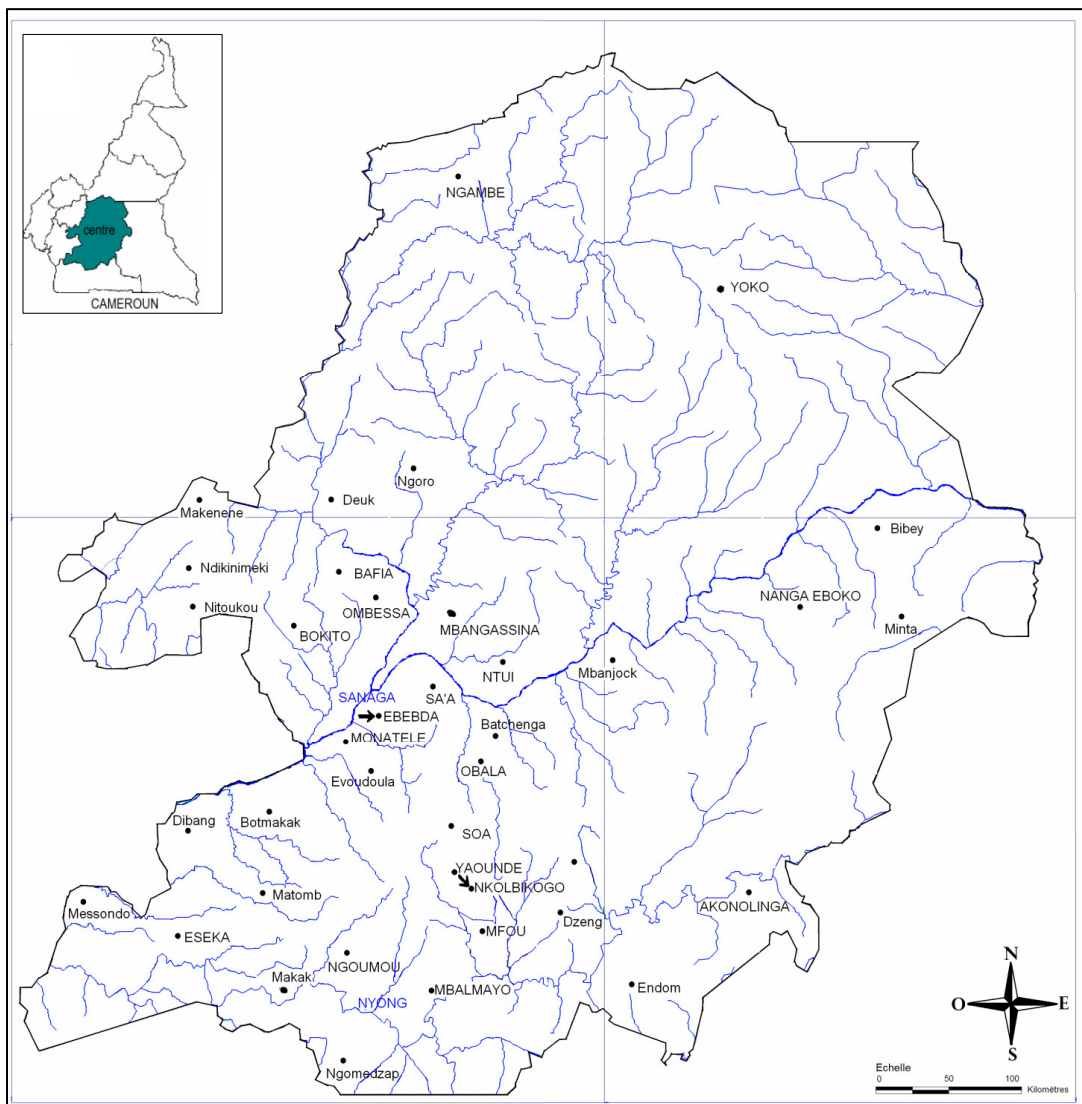
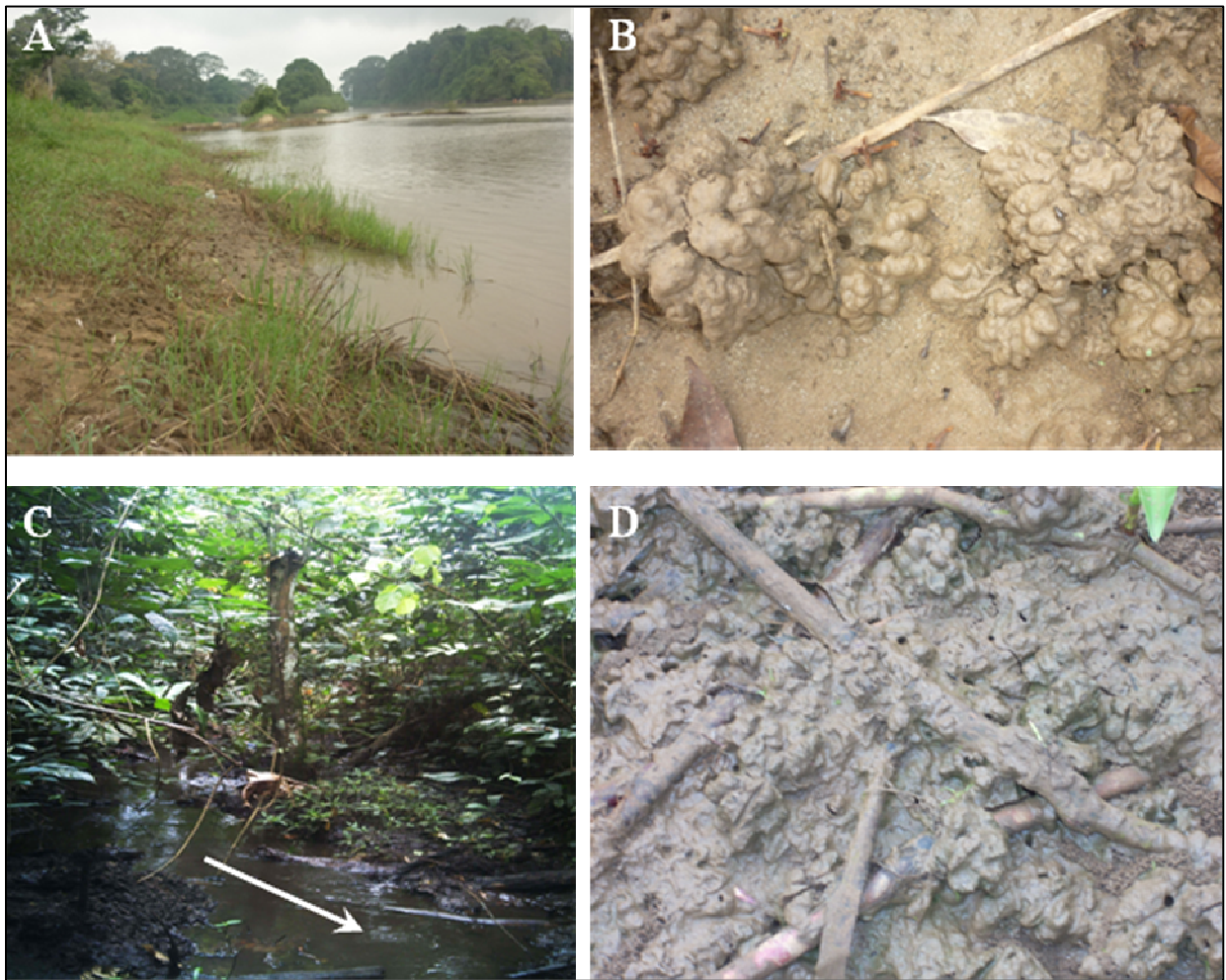


Figure 9 : Réseau hydrographique de la région du Centre (INC, 2011 modifiée).

→ : zones prospectées

### II.1.1- Ebebda

Ebebda, est un arrondissement du département de la Lékié, situé entre 11°30'- 11°50' de longitude Est et 4°00'-4°30' de latitude Nord, à une soixantaine de kilomètres au nord de la ville de Yaoundé, sur l'axe routier Yaoundé-Bafoussam. Les prélèvements d'oligochètes ont été effectués sur les berges du fleuve Sanaga, où leur présence se traduit par l'observation de nombreux tortilla sur un substrat sablo argileux (Fig. 10 A et 10 B). La végétation des berges, herbacée, est dominée par des espèces appartenant à trois familles : Cyperacea, Mimosacea et Convolvulacea.



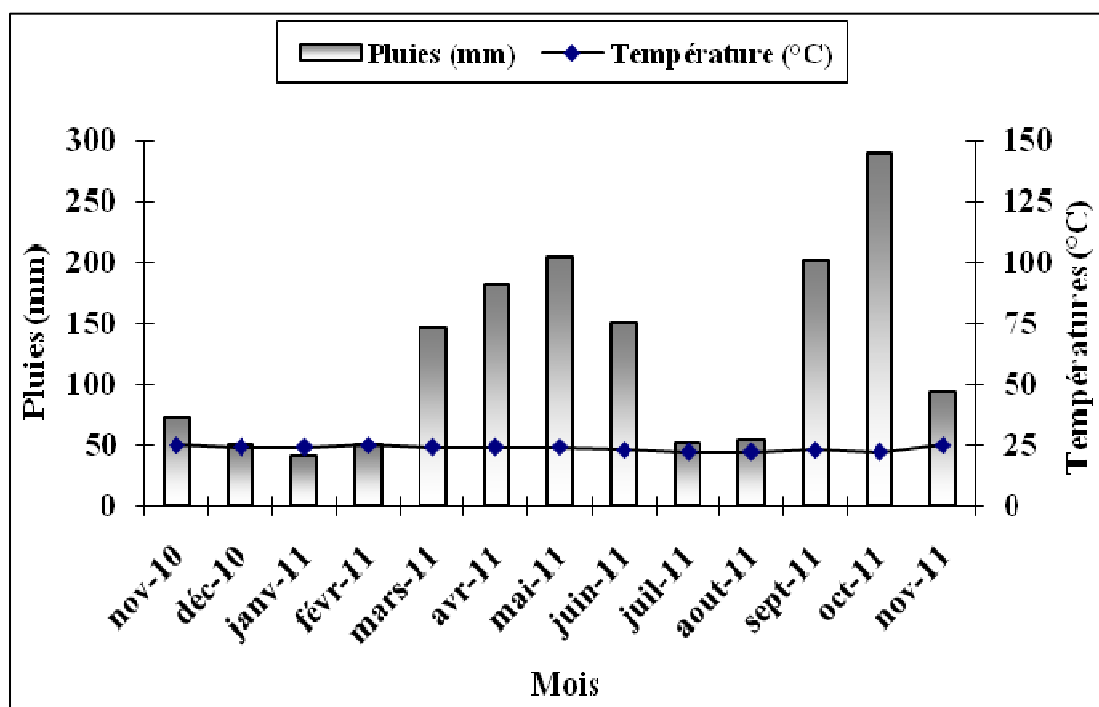
**Figure 10 : Vues partielles des sites de prélèvement d'oligochètes.**

**A** : végétation herbacée sur la berge droite du fleuve Sanaga ; **B** : substrat sablo-argileux présentant de nombreux tortilla sur la berge de la Sanaga ; **C** : lit du cours d'eau Anga'a et son couvert végétal (la flèche indique le sens d'écoulement de l'eau) ; **D** : partie émergée du lit du cours d'eau Anga'a à Nkolbikogo ; échelle des photos : 1/60.

## II.1.2- Nkolbikogo

Nkolbikogo est un village de l'arrondissement de Nkol-Anga'a ; il appartient au département de la Mefou Afamba, et est situé à environ huit kilomètres sur la route Yaoundé–Mfou, entre 11°30'–11°70' de longitude Est et 3°65' et 4° 00' de latitude Nord. Les vers de terre ont été prélevés dans les parties émergées du lit du cours d'eau Anga'a (sous-affluent du Nyong). Sa vitesse d'écoulement est considérablement ralentie. De ce fait, le substrat, constitué de sable et de boue, est abondant (Fig. 10 C). Les berges supportent arbres et arbustes qui forment une couverture végétale au dessus du lit de ce cours d'eau (Fig. 10 D).

Dans ces deux localités où les vers de terre ont été récoltés, le climat est de type Sub-équatorial. En effet, Suchel (1972) qualifie de type Yaoundéen le climat de Yaoundé et ses environs. C'est un climat très caractéristique chaud et humide, atténué par l'altitude. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 23°C avec une amplitude d'environ 2,5°C. Suchel (1987) délimite quatre saisons dont une grande saison sèche (de mi-novembre à mi-mars), une petite saison des pluies (de mi-mars à juin), une petite saison sèche (juillet à août) et une grande saison des pluies (de septembre à mi-novembre) ( Fig. 11).



**Figure 11: Diagramme ombrothermique de la région du Centre pour la période allant de novembre 2010 à novembre 2011 (Données de la station météorologique nationale).**

## II.2- Méthodes

### II.2.1- Collecte et identification des oligochètes

Les hôtes des Ciliés étudiés sont des oligochètes Glossoscolecidae appartenant au genre *Alma*. Les vers, récoltés par des saignées profondes et rapides dans le sol, à proximité des tortillas, ont été identifiés selon les clés mises au point par Omodéo (1958) ; Sims & Gérard (1999). Deux espèces ont été recensées : *Alma nilotica* dont les spécimens mesurent en moyenne 18 cm de long et pèsent 1,38 g et *Alma emini*, 51 cm et 3,8 g (Fig. 12). Cependant, si les *A. nilotica* creusent des galeries peu profondes (3-5 Cm), facilitant ainsi leur capture, les *A. emini*, par contre, font des galeries très profondes (25-30 Cm) et tordues. Ils sont conservés au laboratoire dans la terre humide pendant une semaine maximum pour éviter la défaunation (Fig. 12 A et 12 B).



**Figure 12: Photographies d'annélides oligochètes, hôtes de ciliés.**

**A:** spécimens d'*Alma emini* fraîchement récoltés ; **B :** spécimens d'*Alma emini* et d'*A. nilotica* fraîchement récoltés ; **C :** un spécimen d'*Alma nilotica* ; **D :** un spécimen d'*Alma emini*

## **II.2.2- Récolte des Ciliés**

Les vers, amenés au laboratoire sont soigneusement lavés à l'eau et ouverts sous la loupe binoculaire. Ils sont divisés, du prostomium au pygidium, par petits fragments et dilacérés dans une boîte de Pétri contenant 5 à 7 mL, soit du liquide physiologique de Ringer, soit de l'eau minérale du commerce Supermont (Cameroun) ou Volvic (France).

## **II.2.3- Techniques d'étude**

### **II.2.3.1- Observations sur le vivant**

Un premier examen sous la loupe binoculaire Wild M5 permet de se faire une idée sur la composition de la microfaune du ver de terre, le sens et le mode de déplacement des infusoires, leur aspect morphologique, leur faculté d'adhésion au substrat. Leur dénombrement est effectué au moment du pipetage.

Les Ciliés sont ensuite triés à l'aide d'une micropipette et montés entre lame et lamelle tout en prenant soin de mettre des calles de vaseline pour éviter d'écraser les cellules ; un colorant vital (rouge neutre) est ensuite ajouté et qui, par diffusion, va colorer les vacuoles. Les renseignements sont ainsi obtenus sur la position et le nombre de vacuoles pulsatiles et digestives.

### **II.2.3.2- Observations sur les spécimens colorés**

#### **II.2.3.2.1- Imprégnation argentique pyridinée selon Fernandez-Galiano (1966 ; 1994)**

##### **II.2.3.2.1.1- Préparation du carbonate d'argent ammoniacal**

Dans une boîte de verre transparent, on verse trois volumes de carbonate de sodium 5 % puis on y ajoute lentement et progressivement tout en agitant, un volume du nitrate d'argent à 10 %. On obtient un précipité blanc laiteux de carbonate d'argent. La dissolution du précipité s'effectue par ajout goutte à goutte de l'ammoniaque à 25 % jusqu'à l'obtention d'une solution limpide de carbonate d'argent ammoniacal qui sera utilisée lors de l'imprégnation.

##### **II.2.3.2.1.2-Imprégnation argentique pyridinée**

Dans 2 mL du liquide physiologique contenant les Ciliés, on ajoute 5 mL de formol 10 % pour les fixer. Cette première opération dure environ cinq minutes. Dix millilitres de protéose peptone 5 % sont ensuite ajoutées et environ cinq minutes plus tard, on ajoute 2,5 mL de pyridine pure au mélange. L'imprégnation se poursuit cinq minutes plus tard en ajoutant dans le godet, 2 mL de carbonate d'argent et 10 mL d'eau distillée. L'ensemble qui prend un aspect blanc laiteux, est porté au bain-marie à 40° C jusqu'au virage du mélange à la

coloration ambre. La réduction du carbonate d'argent par le formol sera arrêtée par l'ajout à froid d'environ 10 mL de thiosulfate de sodium à 5 %.

Une fois l'imprégnation terminée, l'eau de robinet est utilisée pour effectuer deux à trois rinçages, dans le but de limiter l'intoxication du manipulateur à la pyridine. Entre deux rinçages, on observe une à deux minutes, temps nécessaire pour la décantation des organismes imprégnés. Le contenu du godet est alors versé dans une boîte de Pétri et porté sous une loupe binoculaire (Wild M5).

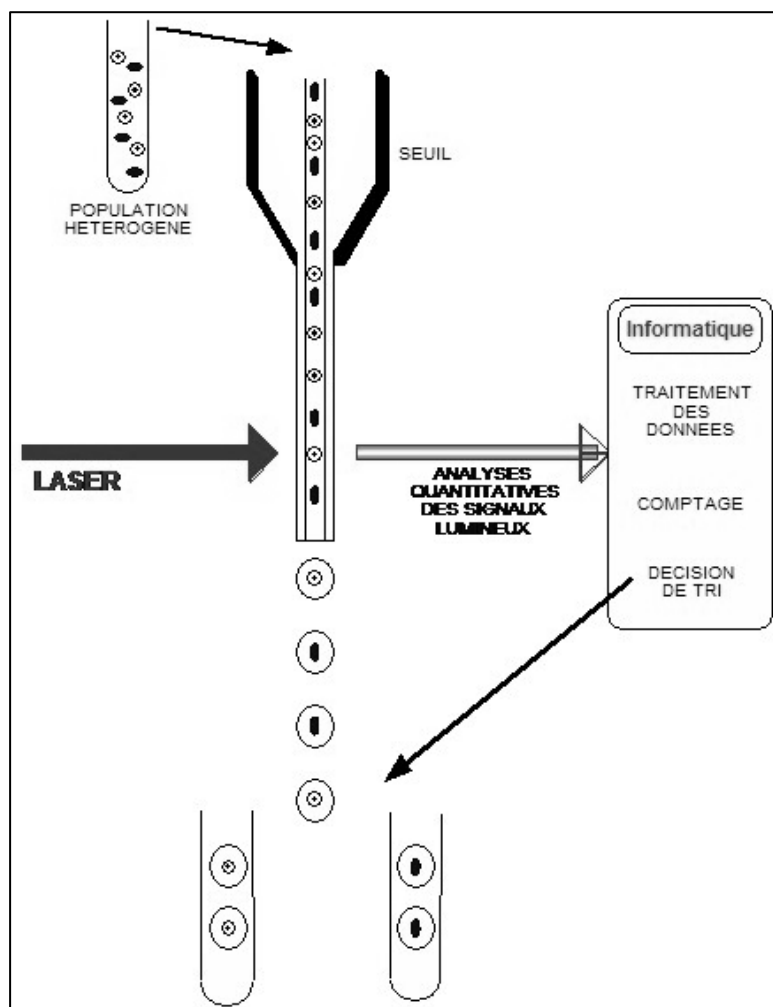
Les Ciliés, montés entre lame et lamelle sont observés au microscope optique (Optic Yvimen System). Les dessins sont réalisés à la chambre claire d'un microscope optique (Wild M20).

#### **II.2.3.2.2- Coloration de l'appareil nucléaire au DAPI et observation au microscope à fluorescence**

Les Ciliés triés à la micropipette sont fixés en saignée par du paraformaldéhyde 4 % en tampon PBS (NaCl 137 mM, KCl 2.7 mM, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 8 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 2 mM, pH = 7.4) pendant 1 heure. Après deux lavages au PBS, les cellules sont incubées dans du PBS plus DAPI à 10 µg/mL pendant 15 minutes. Après un dernier lavage en PBS, les cellules sont montées entre lame et lamelle en PBS Glycerol-DABCO (1 % DABCO dans 90 % glycérol, PBS) selon Johnson *et al.* (1982). Les lames sont ensuite stockées à 4 °C au noir. Les cellules sont observées sur un microscope à fluorescence (Leica) avec un filtre d'émission bleu. Les photographies sont obtenues à l'aide d'un appareil photo numérique incorporé au microscope. Rappelons que cette partie a été totalement effectuée au Laboratoire Microorganismes : Génome et Environnement de l'Université Blaise Pascal de Clermont Ferrand II.

#### **II.2.4- Cytométrie en flux**

La cytométrie en flux (FACS : Fluorescence Activated Cell Sorter) est une technique qui permet le dénombrement et l'analyse multiparamétrique de particules en suspension dans un milieu liquide. Elle est généralement appliquée à des cellules, parfois à des éléments subcellulaires tels que les fragments de membrane cellulaire, les noyaux, les mitochondries que l'on aura marqués avec des anticorps selon des techniques identiques à celles utilisées en immunohistochimie. L'intérêt de cette technique est de pouvoir mesurer simultanément, à une cadence de plusieurs milliers d'événements par seconde, plusieurs paramètres tels que le volume, la longueur, la granularité et l'émission de fluorescence à plusieurs longueurs d'onde. De plus les analyses sont très rapides, soit quelques dizaines de secondes par échantillon. La figure 13 donne le schéma du principe de fonctionnement d'un FACS.



**Figure 13: Principe de fonctionnement d'un cytomètre trieur à flux.**

L'extraction consiste en un broyage de chaque fragment de ver (antérieur, moyen et postérieur) dans un bocal en porcelaine. Ensuite, 6 grammes de chaque broyat sont mélangés à 6 mL d'eau distillée. On y ajoute du tween 80 (Prolabo, France) à 10 % puis du tétrapyrophosphate de sodium (B.D.H. Laboratory, England) à 10 mM dans de l'eau qsp 14 mL. L'ensemble est agité 15 minutes puis centrifugé 1 minute à 1000 g. Le surnageant est filtré sur filtre seringue de 5  $\mu\text{m}$  (Whatman, UK) après 1 heure 30 minutes de décantation à 4° C.

L'extrait obtenu subit deux types de traitements :

- une ultracentrifugation sur grilles de microscopie électronique en cuivre recouverte d'un film carbon Formvar (Pelanne Instruments, France) de 1 mL d'extrait pendant 30 minutes à 120000 g avec un rotor SW 40 Ti (LE 80K, Beckman) et visualisation au microscope électronique (TEM 1200 EX, JEOL, Japan), après coloration à l'acétate d'uranyle à 4 % pendant 10 secondes ;



- une coloration au SYBR-Green (Molecular Probes Europe, Netherlands) d'extrait dilué au 1/1000 cf avec du tampon TE (5 minutes à température ambiante, 10 minutes à 80°C et 5 min à température ambiante) pour dénombrement en cytométrie en flux.

Les échantillons sont analysés à l'aide d'un cytomètre FACS Calibur (BD, USA) pendant un temps d'acquisition de 62 secondes à la vitesse de 22,8  $\mu\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ . Les paramètres de routine pour l'analyse des échantillons sont la structure et la fluorescence verte FL1 pour les cellules marquées au Sybr-Green I. Les paramètres de structure et la fluorescence sont collectés en mode logarithmique en utilisant le tube photomultiplicateur FL1 comme déclencheur. Les fenêtres et réglages suivants (SSC = 650, FL1 = 467, seuil = 10) sont utilisés pour discriminer les bactéries des virus dans le ver et estimer leur importance quantitative (Fig. 10). La technique de la cytométrie en flux a été réalisée au Laboratoire Microorganismes : Génome et Environnement de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand II.

## II.2.5- Paramètres physico-chimiques du tractus digestif des oligochètes

### II.2.5.1- Extraction du liquide digestif des oligochètes

Chaque ver de terre a été nettoyé à l'eau de robinet, puis fixé au formol à 10 % pendant 5 à 10 minutes et ouvert. Le tube digestif a ensuite été complètement isolé du reste de son corps, intact dans sa totalité et étendu sur une bande de papier-filtre pour éliminer le sang et le liquide coelomique. Une fois le sang et le liquide coelomique asséchés, l'intestin a été sectionné en trois portions : antérieur, moyen et postérieur (Fig. 14).

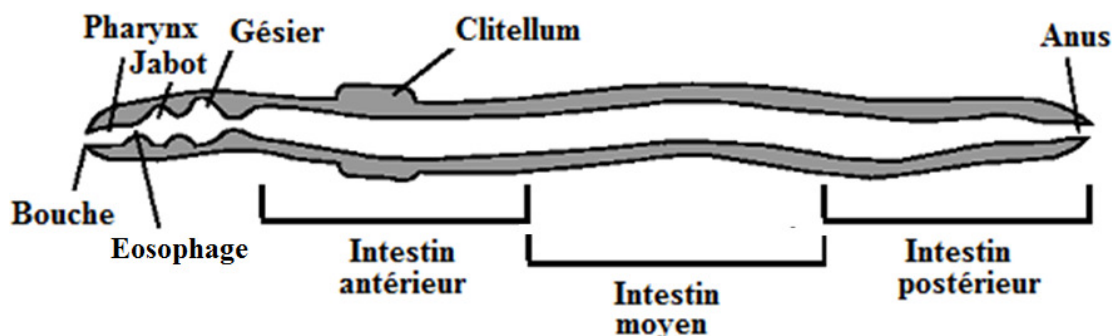


Figure 14: Système digestif d'un oligochète (Horn *et al.*, 2003).

Chaque section, placée sur une faïence, a été vidée de son contenu par une pression légère des parois du tube digestif du ver, en direction des extrémités. Le contenu de chaque tube a été porté sur un verre fritté dont la taille des mailles est très réduite. Le liquide de coloration jaunâtre, a été aspiré par une pompe à vide et recueilli dans un flacon (Fig. 15).



**Figure 15 : Photographies de l'appareillage d'extraction et de recueillement du liquide digestif des oligochètes.**

**A :** erlenmeyer branché sur un robinet ; **B :** détail du dispositif de recueillement du liquide intestinal; échelle des photos : 1/50.

Cette technique, mise au point par Puytorac & Mauret (1956) est rapide et permet d'obtenir trois à quatre gouttes de liquide intestinal intact dépourvu de particules terreuses par portion du tube digestif d'un ver. Dans le but d'obtenir une quantité considérable du liquide digestif sur lequel peuvent être directement faites des mesures sans dilution, quinze vers de terre ont été disséqués pour chaque série d'expériences. Cette étude n'a été possible que sur les *Alma emini* récoltés à Ebebda en raison de leur plus grande taille.

## **II.2.5.2- Mesure des paramètres physico-chimiques**

### **II.2.5.2.1- Potentiel d'hydrogène (pH)**

Le pH a été directement mesuré à l'aide d'un pH-mètre portatif (HACH HQ11d) de précision 0,1 UC, en plongeant l'électrode dans le flacon contenant le liquide intestinal. Les valeurs ont été exprimées en unités conventionnelles (UC).

### **II.2.5.2.2- Conductivité électrique (CE)**

La CE donne une bonne indication sur la variation du degré de minéralisation du liquide digestif dans les différentes portions du tractus digestif des vers. Les mesures de la conductivité électrique sont effectuées à l'aide d'un conductimètre (HACH HQ14d) de

précision 0,1. Les données obtenues sont exprimées en Micro Siemens par Centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

#### **II.2.5.2.3- Teneur globale en substances dissoutes (TSD)**

La TSD est la teneur en extrait sec du liquide intestinal. Elle a été évaluée après évaporation complète du liquide digestif à 80°C dans une étuve de marque Gallenkamp. Les pesées étant effectuées avant et après le passage de l'échantillon à l'étuve à l'aide d'une balance de marque Sartorius.

#### **II.2.5.2.4- Teneur en eau du contenu digestif (TED)**

Nous nous proposerons de donner une idée des variations de consistance du milieu existant entre les trois portions et cela dans les conditions naturelles de vie des oligochètes. Afin de mesurer la teneur en eau du contenu digestif de chaque section des vers de terre, des pesées ont été effectuées avant et après leur passage dans une étuve (Gallenkamp) portée à 60°C. Les différentes opérations (prélèvement du contenu digestif et pesées) ont été très brèves afin d'éviter l'évaporation du liquide.

#### **II.2.5.2.5- Teneur en différentes formes azote**

Les différentes formes d'azotes ont dosées par colorimétrie au spectrophotomètre (HACH DR/2800). L'azote ammoniacal a été dosé par la méthode de Nessler ; les nitrates et nitrites ont respectivement été mesurés au moyen du NitraVer VI et du NitriVer III. Les teneurs en orthophosphates, ont été également dosées par un spectrophotomètre (HACH DR/2800) en utilisant du Phosver III. Les résultats obtenus sont exprimés en  $\text{mg.L}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{PO}_4^{3-}$  respectivement.

#### **II.2.5.3- Etude qualitative et quantitative des Ciliés**

Les vers, soigneusement lavés à l'eau, ont été coupés en trois portions (antérieure, moyenne et postérieure) du prostomium au pygidium. Chaque fragment a été dilacéré dans une boîte de Pétri contenant 5 à 7 mL d'eau minérale du commerce Supermont (Cameroun) ou Volvic (France) et porté sous une loupe. Les Ciliés ont été identifiés grâce aux ouvrages et les clés de de Puytorac (1968a, b et 1969a, b); de Puytorac & Dragesco (1968 et 1969) ; Ngassam (1983a, b et 1992) ; Njiné & Ngassam (1993) ; Ngassam *et al.*, (1993) ; Ngassam & Grain (1997 et 2000) ; Fokam (2005) ; Fokam *et al.*, (2008 et 2012). Ils ont été triés un à un à l'aide d'une micropipette et dénombrés sur le vivant, sous la loupe binoculaire Wild M5 au grossissement 250X.

#### II.2.5.4- Méthodes d'analyse des données

Au cours de ce travail, les tests statistiques ont été entièrement réalisés grâce au programme informatique SPSS pour Windows, version 16.0.

##### II.2.5.4.1- Calcul de la moyenne, de l'écart type et de l'intervalle de confiance

Soit un échantillon d'effectif  $n$  ( $n \geq 30$ ), la variable  $x$  désigne une suite de mesures et  $m$  la moyenne. Le calcul de la moyenne se fait à l'aide de la formule :

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

L'écart type ( $S$ ) est la racine carrée de la variance ( $S^2$ ) qui a pour expression

$$S^2 = \frac{\sum (x-m)^2}{n-1} \text{ avec } n-1 \text{ le nombre de degré de liberté.}$$

L'intervalle de confiance de la moyenne est  $\pm 2 S_m$ , pour un coefficient de sécurité de 90%.  $S_m$  est l'erreur standard de la moyenne ; elle se calcule par la formule :

$$S_m = \frac{S}{\sqrt{n-1}}$$

Le niveau de sécurité retenu dans nos analyses et nos calculs est 95%, c'est-à-dire probabilité d'erreur  $< 0,05$ .

##### II.2.5.4.2- Test H de Kruskal - Wallis

Le test H a permis de comparer plusieurs moyennes. Le principe consiste à remplacer les valeurs par leurs rangs et à totaliser ensuite les rangs revenant à chaque échantillon (si plusieurs valeurs ont un même rang, on leur donne un rang correspondant à la moyenne des rangs occupés). On obtient une série de valeurs de  $R$  pour les  $n$  échantillons.

- $R_1$  (somme des rangs de l'échantillon 1),
- $R_2$  (somme des rangs de l'échantillon 2),
- .....,
- $R_n$  (somme des rangs de l'échantillon  $n$ ).

On calcule la statistique

$$K = \frac{12}{N(N+1)} \sum \frac{R^2}{n} - 3(N+1)$$

Où N = nombre total des valeurs, n = nombre de valeur de chaque groupe.

#### II.2.5.4.3- Test U de Mann Whitney

Ce test a permis de comparer les moyennes prises deux à deux. Le principe consiste à ranger dans l'ordre croissant l'ensemble des observations mélangées des deux échantillons, à leur affecter un rang et à calculer séparément la somme des rangs des observations provenant de chacun des deux échantillons. Le rangement prend en compte les valeurs algébriques, c'est-à-dire que le rang le plus faible est assigné à l'observation dont la valeur est la plus négative.

On recherche alors la valeur statistique U, soit :

$$U_i = n_1 n_2 + \frac{n_i(n_i+1)}{n-1} + R_i$$

Où i = 1 et 2 ; R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub> sont les sommes des rangs des éléments du premier et du deuxième échantillon, d'effectifs n<sub>1</sub> et n<sub>2</sub>.

Cette valeur donne le nombre de fois qu'un score du groupe n<sub>2</sub> précède un score du groupe n<sub>1</sub> lors du rangement. Pour savoir si U atteint un seuil significatif, on consulte une table spéciale des valeurs critiques de U, au risque choisi, en fonction de n<sub>1</sub> et n<sub>2</sub> (Frontier *et al.*, 2001).

#### II.2.5.4.4- Coefficient de corrélation « r » de rang de Spearman

Le coefficient de corrélation « r » sera calculé pour rechercher l'existence ou non d'un lien probable entre des variables différentes.

Les données de base sont une série de n couples (x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>). L'opération consiste à substituer à chaque valeur, x ou y, son rang, et à calculer sur ces variables nouvelles, x', y', le coefficient de corrélation par la formule :

$$r = 1 - \frac{6 \sum di^2}{n(n^2-1)} \quad \text{Notons que : } di = \text{représente les différences } y_i' - x_i' \text{ des}$$

rangs,

$n$  = nombre de paires de mesures.

Les valeurs du coefficient varient entre -1 et +1. La valeur absolue du coefficient de corrélation indique la mesure de la relation entre les variables et le signe du coefficient indique la direction de cette relation.

Pour savoir si «  $r$  » atteint un seuil significatif, on consulte la table des valeurs critiques de «  $r$  » au risque choisi (Schwartz, 1989).

## **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION**

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

### III.1- Resultats

#### III.1.1- Etude morphologique des espèces nouvelles ou mal connues de Ciliés

Cette étude porte sur les trois groupes de Ciliés endocommensaux : Hétérotriches, Hysterocinetidés et Astomes.

##### III.1.1.1- Hétérotriches

Dans ce groupe, nous avons récolté deux genres regroupant quatre espèces.

##### III.1.1.1.1- Genre *Nyctotherus* Leidy, 1849

Dans ce genre regroupant les Ciliés caractérisés par la présence d'un système sécant apical sur leur face droite, nous avons trouvé trois espèces dont deux sont nouvelles et une connue.

##### III.1.1.1.1.1- *Nyctotherus cardiostomatus* Ngassam, 1983a

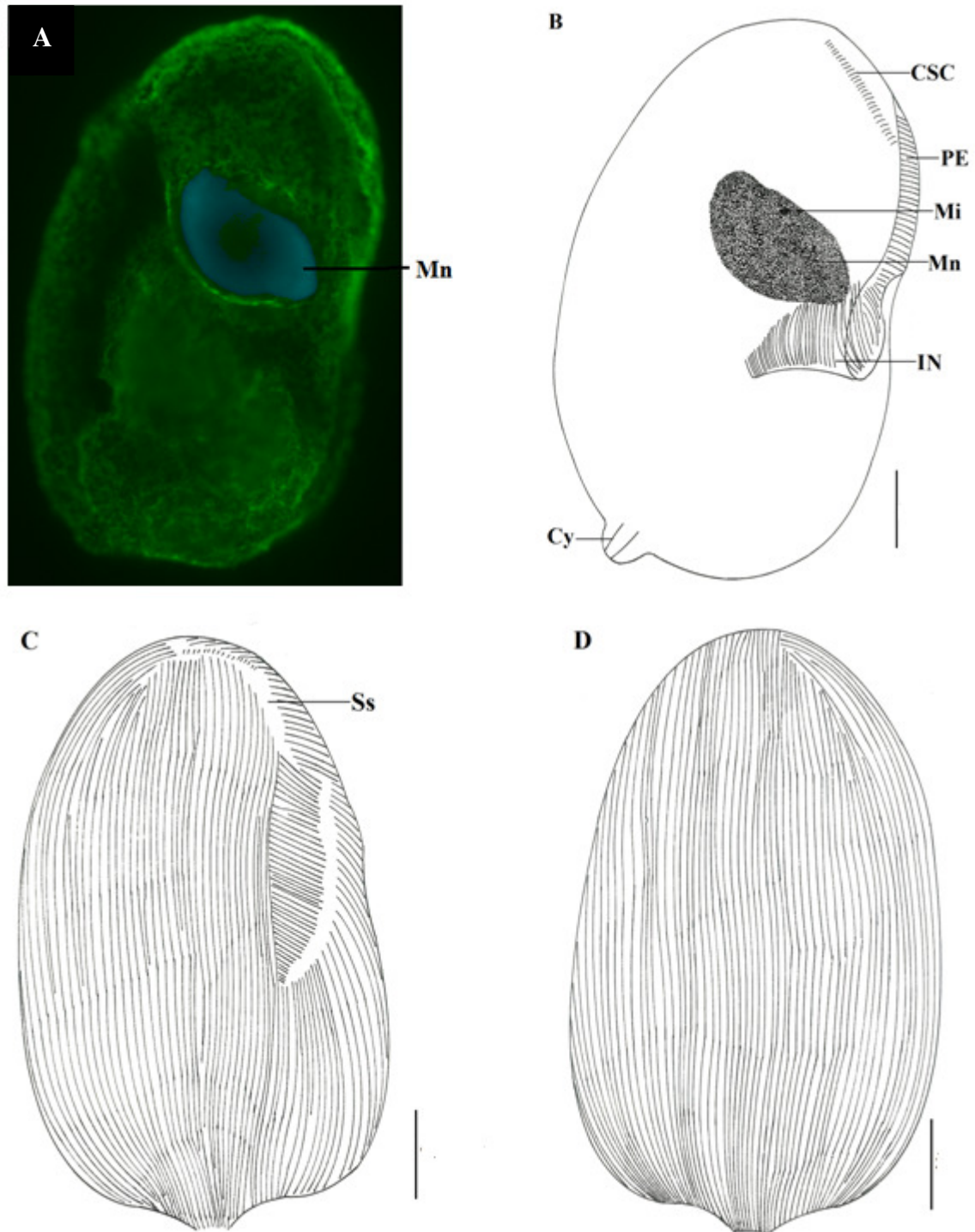
*Nyctotherus cardiostomatus* cohabite avec les Ciliés Hysterocinetidés dans la portion postérieure du tube digestif de *Alma nilotica*. Il a un aspect ovoïde, avec le pôle postérieur moins arrondi que le pôle antérieur (Fig. 16). Il mesure 85 à 138  $\mu\text{m}$  de long sur 52 à 115  $\mu\text{m}$  de large. On dénombre en moyenne 10 cellules par ver infesté.

Le macronoyau a une forme irrégulière. Il mesure 20 à 25  $\mu\text{m}$  de long sur 10 à 14  $\mu\text{m}$  de large, et est situé dans la première moitié de la cellule et disposé obliquement vers le côté dorsal. Ce macronoyau est surmonté d'un micronoyau sphérique de 3  $\mu\text{m}$  de diamètre en moyenne.

L'appareil buccal est constitué d'un péristome presque aussi long que l'infundibulum. Le péristome débute en arrière de l'apex et se poursuit suivant une trajectoire curviligne. L'infundibulum, très caractéristique est en forme de cœur. La frange adorale comporte en moyenne 22 organelles adoraux au niveau du péristome et 33 au niveau de l'infundibulum.

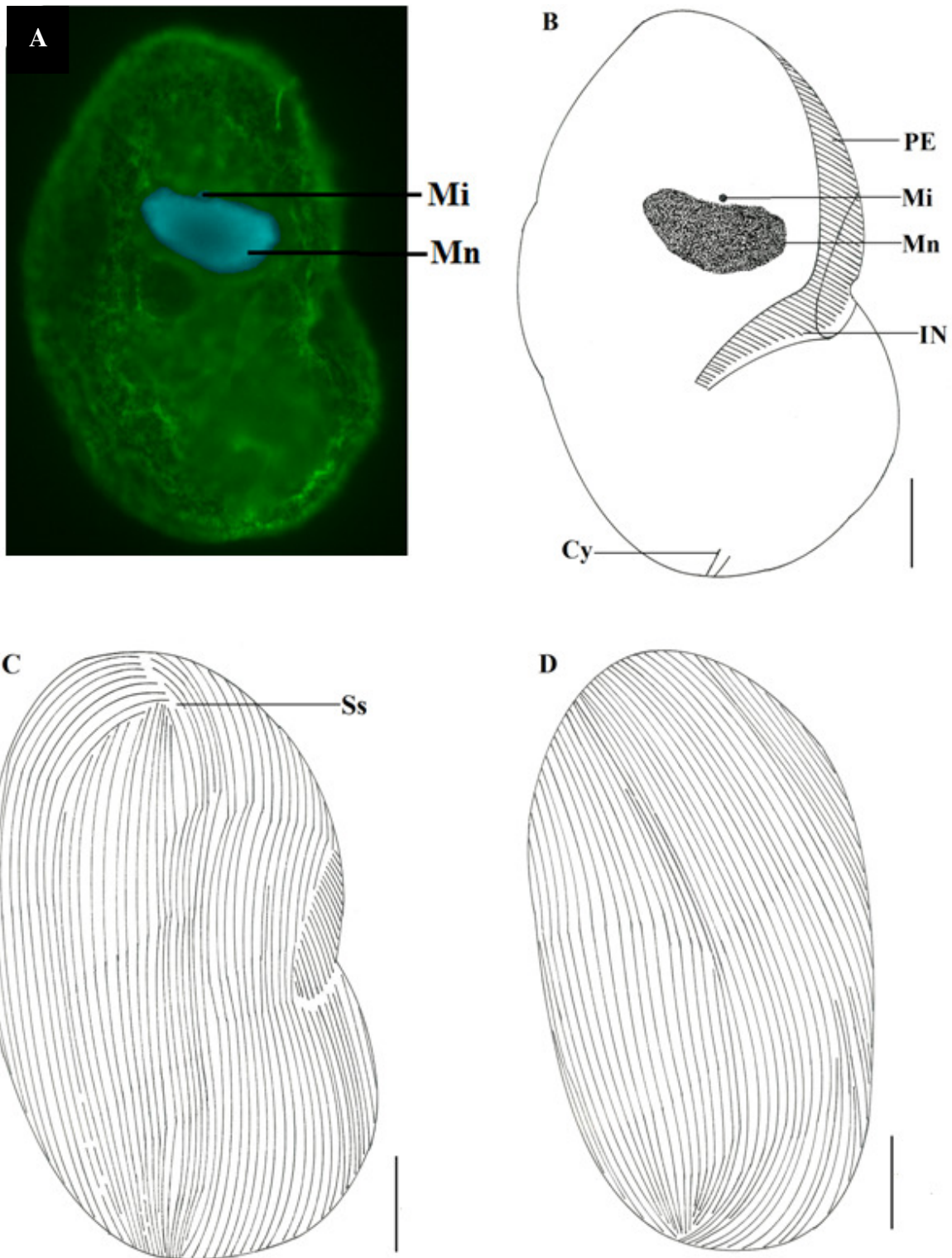
On dénombre 95 à 110 cinéties inégalement réparties sur les deux faces latérales du Cilié. Sur la face droite, 45 à 50 cinéties serrées revêtent la cellule. Le système sécant apical est bien marqué et celui préoral, très développé, se singularise par la présence de courtes stries ciliaires (Fig. 16 C). Sur la face gauche, on compte 35 à 40 cinéties régulièrement espacées (Fig. 16 D).





**Figure 16: *Nyctotherus cardiostomatus* Ngassam, 1983a.**

**A** : morphologie générale (coloration au DAPI) (X 1000) ; **B** : morphologie générale ; **C** : infraciliature de la face droite ; **D** : infraciliature de la face gauche. **CSC** : courtes stries ciliaires ; **Cy** : cytopyge ; **IN** : infundibulum ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **PE** : péristome ; **Ss** : système sécant. Trait d'échelle : 50  $\mu$ m.



**Figure 17: *Nyctotherus emini* n. sp.**

**A** : morphologie générale (coloration au DAPI) (X 1000) ; **B** : morphologie générale ; **C** : infraciliature de la face droite ; **D** : infraciliature de la face gauche. **CSC** : courtes stries ciliaires ; **Cy** : cytopype ; **IN** : infundibulum ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **PE** : péristome ; **Ss** : système sécant. Trait d'échelle : 50 μm.

### III.1.1.1.1.2- *Nyctotherus emini* n. sp.

Ce Cilié cohabite avec *Ptychostomum elongatum* Njiné & Ngassam, 1993 et *Proptychostomum commune* Ngassam & Grain, 1997 (Ciliés Hysterocinetidés) dans l'intestin postérieur de *Alma emini*. Sa fréquence moyenne est de 12 % et son abondance est en moyenne de 7 Ciliés par ver infesté. La cellule est ovoïde avec le pôle antérieur plus arrondi que le pôle postérieur (Fig. 17 A et 17 B). Elle mesure en moyenne 110 µm (66 à 185 µm) de long sur 75 µm (50 à 95 µm) large.

Le macronoyau allongé, proche du pôle antérieur de la cellule est transversal. Il mesure en moyenne 25 µm sur 14 µm de hauteur et est surmonté d'un micronoyau mesurant en moyenne 3 µm de diamètre.

La gouttière péristomienne débute au dessus de l'apex et mesure 35 µm de longueur. L'infundibulum, légèrement courbé est long de 24 µm ; il s'ouvre au niveau du plan équatorial. La frange adorale comporte en moyenne 36 membranelles au niveau du péristome et 23 au niveau de l'infundibulum. Le cytophyge est constitué par une fente bien marquée.

La ciliature somatique comporte 62 à 73 cinéties recouvrant la cellule, dont 32 à 38 longitudinales sur la face droite où le système sécant est bien marqué, et 30 à 35 obliques sur la face gauche (Fig. 17 C et 17 D).

#### **Affinités taxonomiques**

Par sa morphologie générale, ce Cilié pourrait à première vue être confondu à *Nyctotherus ovalis* Leidy, 1850 si ce n'étaient le nombre et la disposition, très serrés, des cinéties sur ses deux faces. Cette espèce diffère de *Nyctotherus polymorphus*, *Nyctotherus dupouyi*, Ngassam, 1983a par son infundibulum légèrement courbé d'une part, par la présence de cinéties obliques sur la face gauche d'autre part. Toutes ces différences ont conduit à créer pour ce Cilié, une espèce nouvelle pour laquelle nous avons donné le nom *Nyctotherus emini* n. sp., pour rappeler le nom du ver de terre hôte.

#### **Diagnose**

Commensal du tube digestif d'*Alma emini* ; cellule ovoïde avec le pôle antérieur plus arrondi que le pôle postérieur : 66-185 µm X 71-76 µm ; 50-95 cinéties également réparties sur les deux faces ; péristome : 36 membranelles ; infundibulum 23 organelles ; fréquence : 12 % ; abondance moyenne : 7 cellules par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda

### III.1.1.1.3- *Nyctotherus renimorphus* n. sp.

Ce Cilié est commensal du tube digestif de *Alma nilotica* où il cohabite la portion postérieure avec les Hysteroconetidés du genre *Ptychostomum* Stein, 1860. Cette espèce a une fréquence de 10 % et une abondance moyenne de 15 Ciliés par ver. La cellule est réniforme avec le pôle antérieur plus arrondi que le pôle postérieur (Fig. 18 A et 18 B). Elle mesure en moyenne 185 µm (125 à 220 µm) de long sur 98 µm (75 à 180 µm) de large.

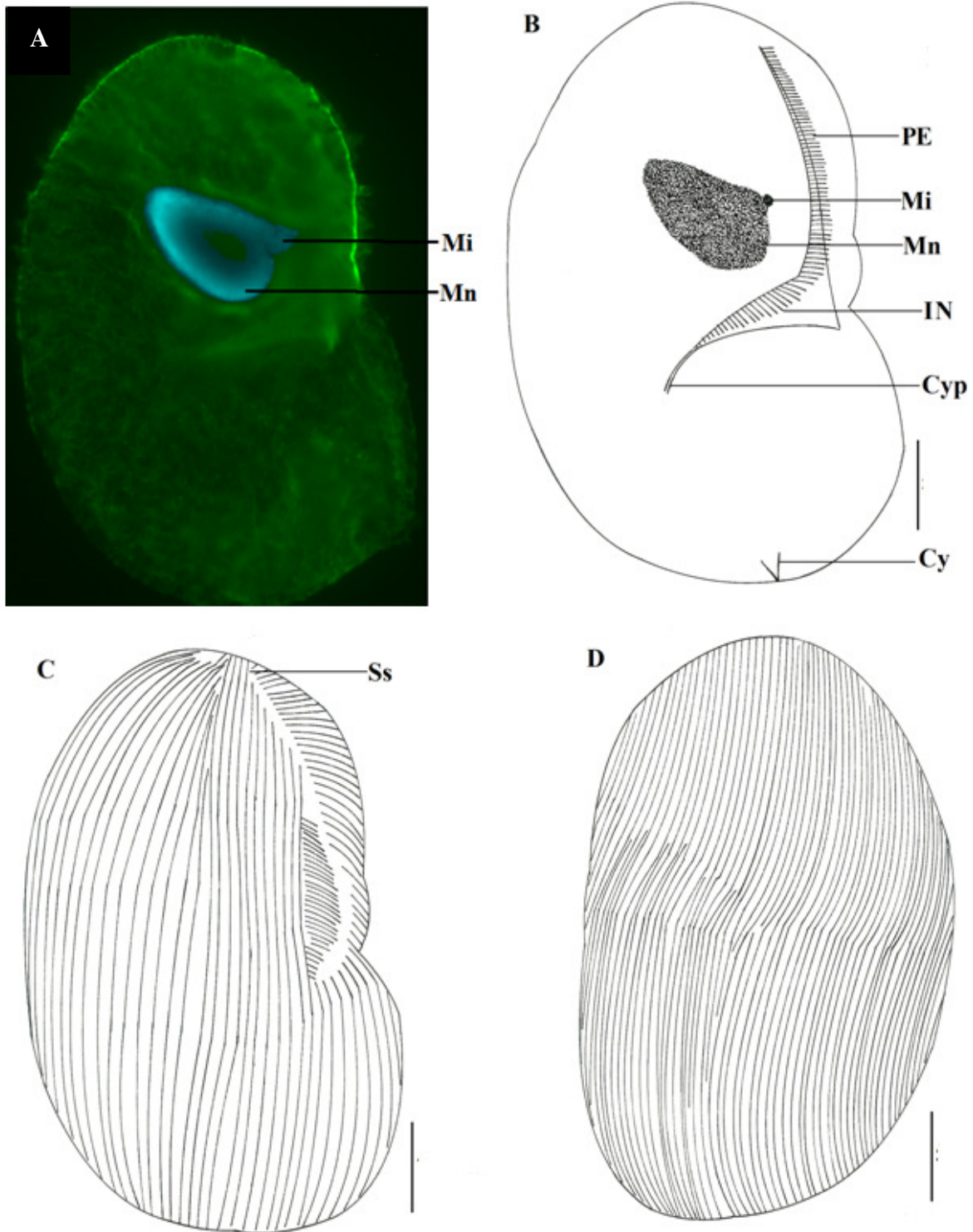
Le macronoyau, de forme irrégulière et disposé obliquement, est à cheval entre le premier et le deuxième tiers supérieur de la cellule. Il mesure en moyenne 34 µm de long sur 15 µm de haut. Le micronoyau, situé au-dessus du macronoyau près de la face droite, mesure entre 3 et 5 µm de diamètre.

L'appareil buccal est toujours constitué d'un péristome et d'un infundibulum. Le péristome débute près de la face droite ; il est long de 80 µm en moyenne et constitué de 55 organelles adoraux. L'infundibulum, moins développé, porte environ 20 membranelles. Le cytopharynx est curviligne. Le cytopyge est constitué par une pièce en V bien marquée.

La ciliature somatique est constituée de 95 à 110 cinéties inégalement réparties sur les deux faces latérales du Cilié (Fig. 18 C et 18 D). Sur la face droite, ces cinéties sont moins denses et disposées longitudinalement. Sur la face gauche, elles sont plus denses et disposées obliquement.

#### **Affinités taxonomiques**

L'espèce décrite s'apparente par sa ciliature somatique générale à *Nyctotherus neocurtillae* Carini, 1938, commensal de *Neocurtilla hexadactyla* Earl, 1972 et *Neocurtilla alpha* Earl, 1972, commensal de l'intestin postérieur de *Gryllotalpa gryllotalpa*. Cependant, elle en diffère par sa morphologie réniforme et son cytopyge en V, rapprochant notre Cilié de *Nyctotherus polymorphus* Ngassam, 1983a. Le Cilié décrit est morphologiquement proche de *Pronyctotherus dragescoi* Albaret & Njiné, 1975 à la différence que chez cette dernière, la ciliature somatique est dense. Il présente un système sécant apical sur la face droite, caractère typique des Nyctothères. Nous pensons qu'il s'agit d'une espèce nouvelle que nous proposons de nommer *Nyctotherus renimorphus* n. sp., nom qui fait référence à sa morphologie réniforme.



**Figure 18: *Nyctotherus renimorphus* n. sp.**

**A** : morphologie générale (coloration au DAPI) (X 1000) ; **B** : morphologie générale ; **C** : infraciliature de la face droite ; **D** : infraciliature de la face gauche. **CSC** : courtes stries ciliaires ; **Cy** : cytopyge ; **Cyp** : cytopharynx ; **IN** : infundibulum ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **PE** : péristome ; **Ss** : système sécant. Trait d'échelle : 50  $\mu$ m.

## Diagnose

Commensal du tube digestif d'*Alma nilotica* ; cellule ovoïde avec le pôle antérieur arrondi: 125-220  $\mu\text{m}$  X 75-180  $\mu\text{m}$  ; 95-110 cinéties inégalement réparties sur les deux faces ; péristome : 55 membranelles ; infundibulum 20 organelles ; fréquence : 10 % ; abondance : environ 15 cellules par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda

### III.1.1.1.2- Genre *Nyctotheroïdes* Albaret, 1975

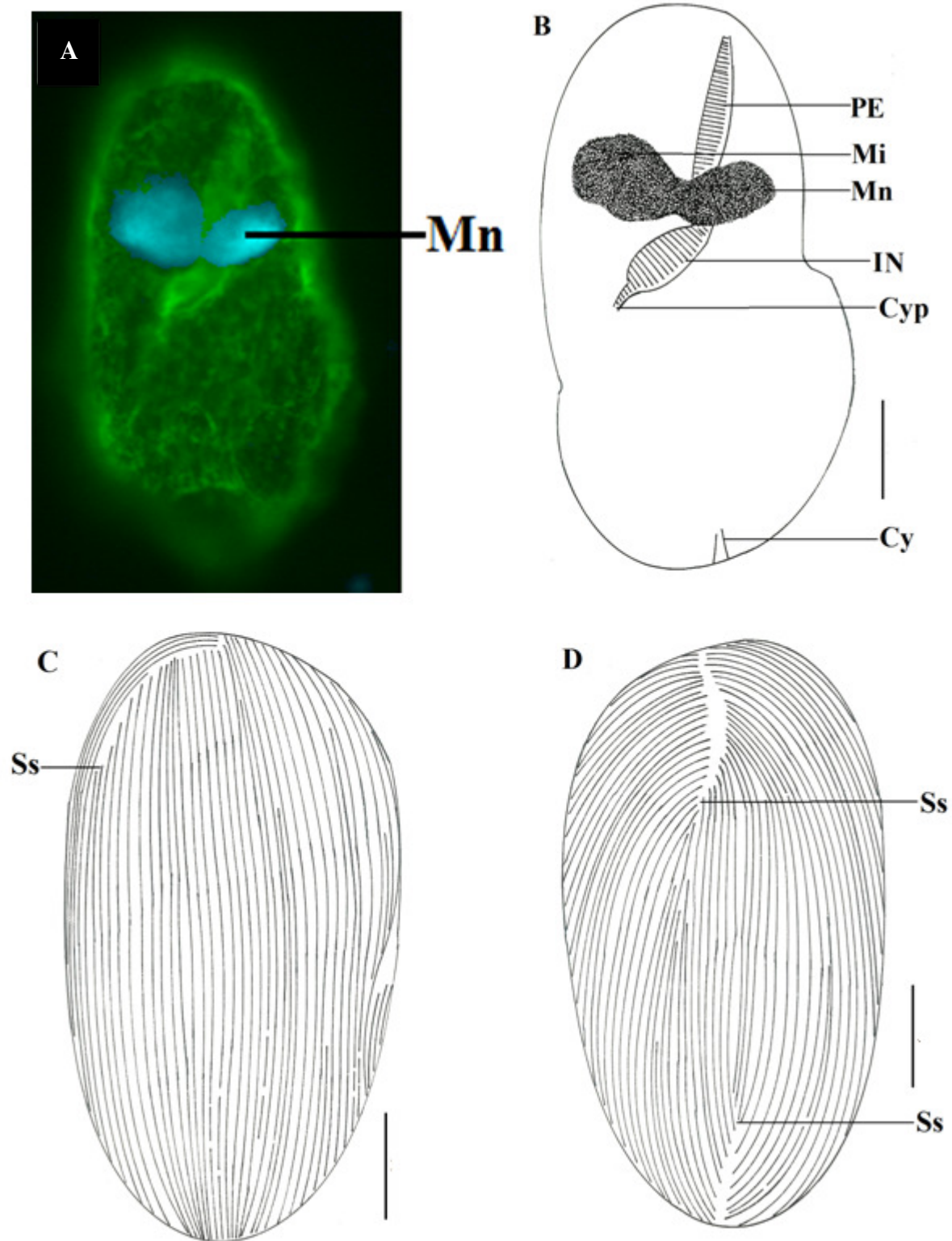
Il regroupe les Ciliés caractérisés par l'existence de trois systèmes sécants sur leur deux faces: sur la face droite, on note un système sécant apical et sur la face gauche deux systèmes sécants (un apical et l'autre caudal). Dans ce genre, nous avons trouvé une espèce nouvelle.

#### *Nyctotheroïdes filimorphus* n. sp.

Ce Cilié est commensal du tube digestif de *Alma nilotica* et *A. emini* récoltés à Ebebda où il cohabite dans la portion postérieure avec les Ciliés Hystero-cinetidés du genre *Ptychostomum* et *Preptychostomum* de Puytorac, 1968a. *Nyctotheroïdes filimorphus* n. sp. a une fréquence de 25 % et une abondance moyenne de 23 Ciliés par ver. La cellule est allongée et mesure en moyenne 95  $\mu\text{m}$  (75 à 120  $\mu\text{m}$ ) de long sur 32  $\mu\text{m}$  (25 à 40  $\mu\text{m}$ ) de large (Fig. 19 A et 19 B). La constriction de la face droite est plus ou moins marquée.

Le macronoyau, bilobé, forme deux masses denses dissymétriques, situées perpendiculairement à la courbure du péristome. Il mesure 15 à 22  $\mu\text{m}$  de long sur 7 à 10  $\mu\text{m}$  de large. Le cytophyge, canal étroit et oblique, s'ouvre du côté ventral du pôle postérieur de la cellule. L'appareil buccal comporte en moyenne 45 organelles adoraux.

Les cinéties somatiques se répartissent presque équitablement sur les deux faces latérales. La face droite porte 25 à 30 cinéties. Dix à 15 de ces cinéties forment avec la seule cinétie dorsale qui se termine au dessus du péristome, un système sécant apical droit dorsal. La face latérale gauche montre un système sécant préoral réduit, formé par l'affrontement de cinéties dorsales gauches et des extrémités des cinéties ventrales droites. Le système sécant apical gauche est formé par l'affrontement en chevron de 3 à 4 cinéties latéro-ventrales à l'extrémité parallèle au sillon péristomien et d'autant de cinéties latérales. Ce système sécant est presque médian (Fig. 19 C et 19 D).



**Figure 19 : *Nyctotheroides filimorphus* n. sp.**

**A** : morphologie générale (coloration au DAPI) (X 1000) ; **B** : morphologie générale ; **C** : infraciliature de la face droite ; **D** : infraciliature de la face gauche ; **CSC** : courtes stries ciliaires ; **Cy** : cytopyge ; **Cyp** : cytopharynx ; **IN** : infundibulum ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **PE** : péristome ; **Ss** : système sécant. Trait d'échelle : 50  $\mu$ m.

### **Affinités taxonomiques**

L'espèce décrite offre un aspect général assez voisin de celui de *Nyctotheroides chiromantisi* Albaret, 1975, commensal du rectum de *Chiromantis rufescens* ; de *N. njinei* Albaret, 1975, commensal du rectum de *Phrynobatrachus batesi* et de *N. faberi* Carini, 1939, parasite de *Hyla faber*. Elle en diffère cependant par la forme bilobée de son macronoyau situé perpendiculairement à l'axe antéro-postérieur de la cellule. Elle diffère également de *Nyctotheroides tejerai* Pinto, 1926 (commensal du rectum de *Leptopelis notatus*) notamment par sa forme allongée, mais aussi par son péristome nettement plus long que l'infundibulum, situé en arrière de l'appareil nucléaire. Le Cilié décrit, récolté pour la première fois dans tractus digestif d'oligochètes du genre *Alma*, se distingue donc des espèces connues par divers caractères. Il est probablement nouveau et nous proposons de le nommer *Nyctotheroides filimorphus* n. sp., nom qui fait référence à sa morphologie filiforme.

### **Diagnose**

Commensal du tube digestif d'*Alma nilotica* et *A. emini* ; cellule allongée : 75-120 µm X 25-40 µm ; macronoyau bilobé formant deux masses denses dissymétriques : 15-22 µm X 7-10 µm ; appareil buccal : 45 organelles adoraux ; fréquence : 25 % ; abondance moyenne : 23±5 Ciliés par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda

### **III.1.1.2- Hysteroconetidés**

Dans ce groupe, nous avons récolté six genres dont quatre connus et deux nouveaux.

#### **III.1.1.2.1- Genre *Ptychostomum* Stein, 1860**

En général les Ciliés du genre *Ptychostomum* ont un contour généralement ovoïde, avec une aire antérieure non ciliée plus ou moins circulaire à bras large. Le cytosquelette est constitué de plusieurs trames de fibres superposées et antagonistes, orientées dans des sens très divers, mais fort précis et spécifique, sur tout l'emplacement de la ventouse. Le macronoyau est médian, ovoïde ou ellipsoïdale avec son grand axe perpendiculaire à celui du Cilié. Le micronoyau est souvent disposé en avant du macronoyau.

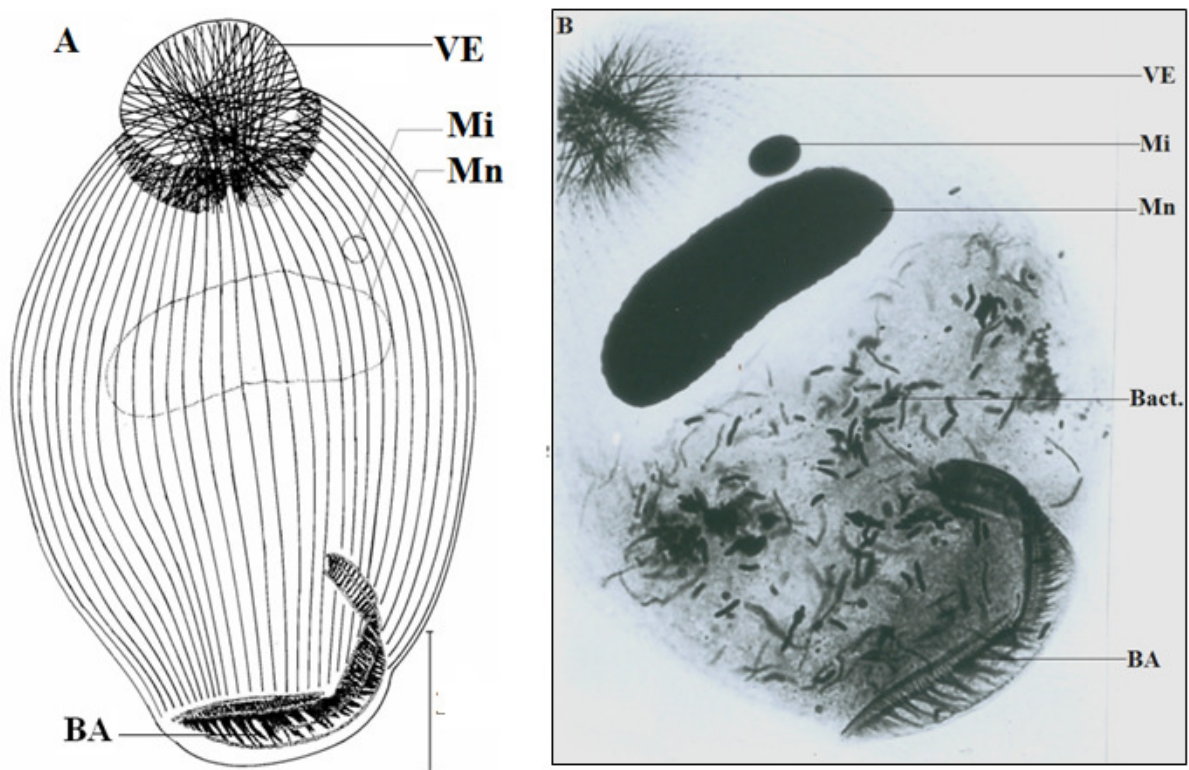
#### ***Ptychostomum bacteriophilus* Nana, Fokam, Ntougwa Ebage, Ngassam, Bricheux, Bouchard & Sime-Ngando, 2012**

Ce Cilié cohabite avec *Metaptychostomum ebebdæ* Ngassam & Grain, 1997, *M. piriformis* Ngassam & Grain, 1997, *M. graini* Ngassam & Grain, 1997 et *Proptychostomum commune* Ngassam & Grain, 1997 dans l'intestin moyen et postérieur de *Alma nilotica*. En



moyenne 60 % d'*Alma nilotica* hébergent ce Cilié et on en dénombre en moyenne 43 cellules par ver.

De forme ovoïde, avec une partie moyenne développée, une partie antérieure rétrécie, occupée par la ventouse et une partie postérieure arrondie, le Cilié, un peu aplati latéralement, mesure 97 à 102  $\mu\text{m}$  de longueur contre 71 à 76  $\mu\text{m}$  sur sa plus grande largeur. Le macronoyau, cylindroïde et disposé en position antérieure est allongé perpendiculairement à l'axe antéro-postérieur de la cellule. Il mesure en moyenne 40  $\mu\text{m}$  de long sur 14  $\mu\text{m}$  de large. Le micronoyau placé en position antéro-dorsale par rapport au macronoyau est arrondi et mesure entre 3 et 4  $\mu\text{m}$  de diamètre (Fig. 20 A et 20 B).



**Figure 20 : Morphologie générale de *Ptychostomum bacteriophilus***

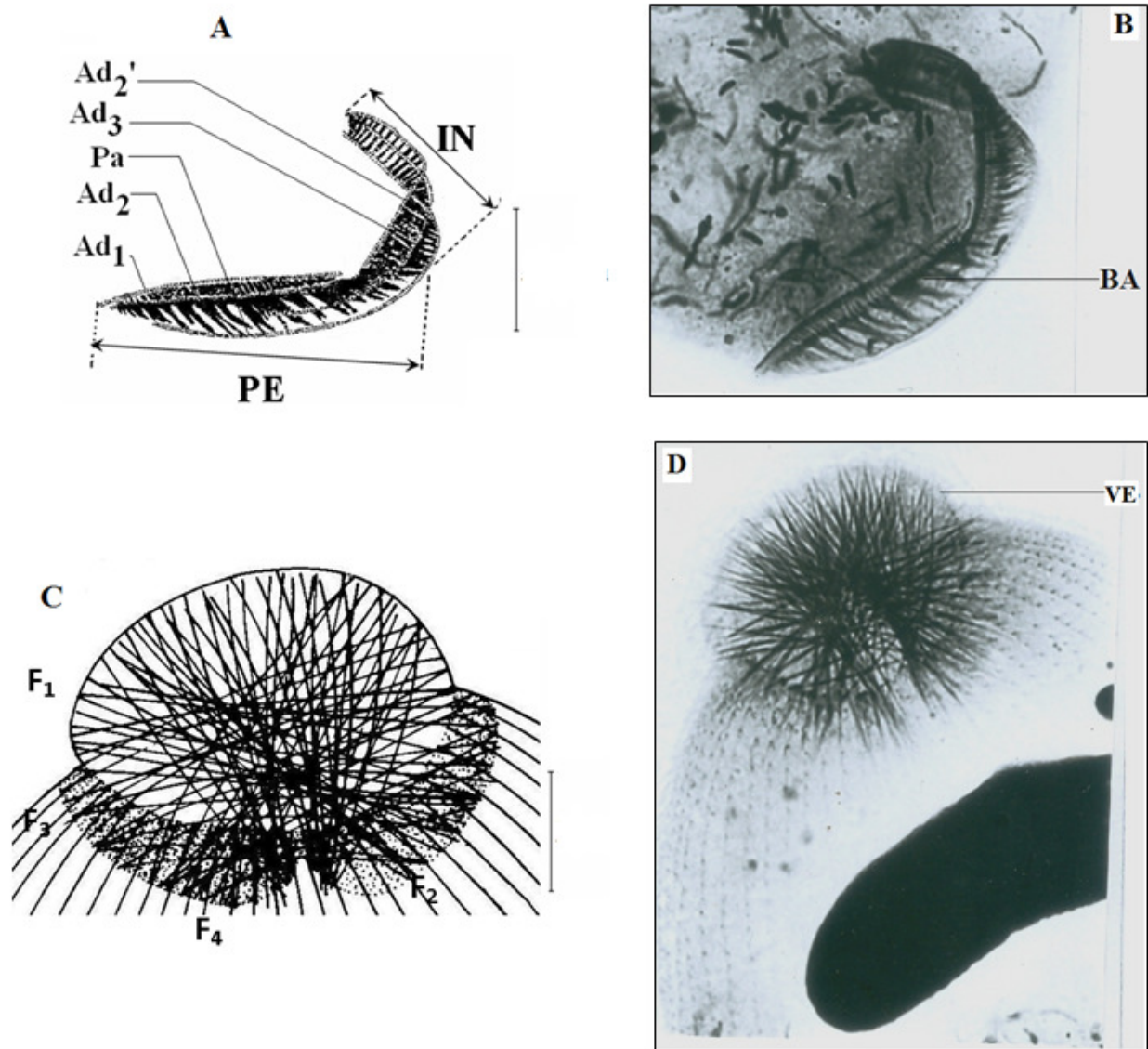
**A** : morphologie générale ; **B** : photographie (coloration au carbonate d'argent pyridiné) (X 1000) ; **BA** : appareil buccal ; **Bact** : bactérie ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **VE** : ventouse. Trait d'échelle : 20  $\mu\text{m}$ .

On dénombre 48 à 52 cinéties également réparties sur les deux faces du Cilié. Sur la face inférieure, les extrémités de certaines d'entre elles délimitent un système sécant assez discret, situé dorsalement au-dessus de la partie infundibulaire de la cavité buccale.

Les éléments de l'appareil buccal comprennent : une parorale (Pa), formée de deux rangées de cinétosomes dont l'externe, la plus à droite de l'appareil buccal, est seule cilifère ; l'ensemble forme une membrane ondulante parallèle au bord postérieur de la cellule dans la région péristomienne et qui s'enfonce dans l'infundibulum ensuite en se spiralant. Du côté gauche, dans la partie péristomienne, se trouvent deux organelles adoraux longitudinaux : Ad<sub>1</sub>, la plus externe, est formé de deux rangées parallèles de cinétosomes (ciliés) et sa course est limitée au péristome ; Ad<sub>2</sub>, plus interne, également formé de deux rangées ciliaires, se prolonge dans l'infundibulum selon un trajet spiralé (partie nommée Ad<sub>2</sub>' , car parfois une petite interruption existe entre les deux parties péristomienne et infundibulaire de cet organelle). Un réseau microfibrillaire profond réunit les organelles adoraux Ad<sub>2</sub> et Ad<sub>2</sub>' à la parorale (Fig. 21 A et 21 B). Un troisième organelle adoral (Ad<sub>3</sub>), absent du péristome, s'allonge dans l'infundibulum ; formée d'une seule rangée de cinétosomes ciliés accompagnée d'une rangée de granules argentophiles, elle s'intercale entre la parorale et Ad<sub>2</sub>'. Au total, l'infraciliature buccale est donc formée d'une parorale et de trois organelles adoraux, ce qui semble justifier la place de *Ptychostomum* dans la famille des Hysterocinetidae.

La face gauche (inférieure) porte à l'avant l'aire thigmotactique ou ventouse à pourtour cordiforme qui représente la zone d'adhésion à la paroi intestinale de l'hôte ; le plafond de la ventouse, presque superficiel à l'avant, s'enfonce progressivement en allant vers l'arrière où il dépasse finalement le bord postérieur de l'ouverture qui le recouvre donc sur une distance de 5 à 8 µm. On a donc ainsi une partie principale antérieure de diamètre moyen 28 µm directement ouverte à l'extérieur, et une partie postérieure invaginée sous le cortex somatique. La partie centrale est occupée par 5 à 8 courtes cinéties obliques.

La paroi du plafond de la ventouse contient des fibres squelettiques qui renforcent l'appareil adhésif. Elles sont disposées en quatre strates superposées (Fig. 21 C et 21 D).



**Figure 21: *Ptychostomum bacteriophilus***

**A** : détail de l'appareil buccal ; **B** : photographie du détail de l'appareil buccal (coloration au carbonate d'argent pyridiné) (X 1400) ; **C** : détail de la ventouse ; **D** : photographie du détail de la ventouse (coloration au carbonate d'argent pyridiné) (X 1400) ; **Ad<sub>1</sub>**, **Ad<sub>2</sub>**, **Ad<sub>2</sub>'**, **Ad<sub>3</sub>** : organelles adoraux ; **BA** : appareil buccal ; **F<sub>1</sub>**, **F<sub>2</sub>**, **F<sub>3</sub>**, **F<sub>4</sub>** : fibres squelettiques ; **IN** : infundibulum ; **PE** : péristome ; **VE** : ventouse. Trait d'échelle : 20 µm.

On distingue successivement de la face inférieure vers la face supérieure:

- une strate de fibres externes F<sub>1</sub>, proche de la face inférieure du Cilié, composée d'une dizaine de fibres squelettiques en arceaux prenant appui sur les bords latéraux de la ventouse et disposés perpendiculairement à l'axe antéro-postérieur de la cellule ;
- une strate F<sub>2</sub>, constituée par un pinceau de 6 à 8 fibres qui, parties en pointe du bord postérieur droit, remontent vers l'avant en éventail ;
- d'une strate F<sub>3</sub>, la plus importante, composée de 8 à 12 fibres qui, parties en pointe du bord médian postérieur gauche, remontent en éventail vers l'avant, se croisant en profondeur avec le faisceau F<sub>2</sub> dans la partie antérieure, formant ainsi grossièrement un V renversé ;
- d'une strate F<sub>4</sub>, constituée de 13 à 15 courtes fibres qui partent en éventail du bord inférieur gauche et dont la course se limite à la strate F<sub>3</sub> voisine avec laquelle elle fusionne dans la partie centrale engendrant ainsi une zone d'épaississement bien marquée.

Comme d'autres Ciliés Hysteroconetidés, endocommensaux d'oligochètes du Cameroun, *Ptychostomum bacteriophilus* renferme de bactéries endozoïques, envahissant toute la cellule et non envacuolées dans l'endoplasme comme le seraient les bactéries en voie de digestion. Le hyaloplasme du Cilié est donc directement en contact avec des bactéries.

### **Affinités taxonomiques**

Ce Cilié présente le même faciès que d'autres *Ptychostomum*: contour général ovoïde, architecture squelettique de la ventouse bâtie sur le même modèle et toujours constituée par 4 trames principales de fibres entrecroisées, segments de stries qui portent les cils dans la dépression centrale de la ventouse isolés des cinéties qui les ont produits. Il s'agit bien là d'un faciès Ptychostomien. Selon de Puytorac (1968a), la parorale correspondrait à la membrane ondulante des Hyménostomes. Le cytosquelette est constitué par plusieurs plans de fibres de directions différentes caractéristiques du genre *Ptychostomum*. Cependant nous avons trouvé une exception à ce type, concernant l'importance des faisceaux F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>, constitués respectivement de 12 et 15 fibres au lieu de 5 et 7 fibres chez *Ptychostomum elongatum*. Il s'agit là, vraisemblablement d'un accident dans la transmission d'une information épigénétique, par exemple un dédoublement accidentel des fibres, qui se transmettrait ensuite au cours des divisions successives du Cilié. Toutefois, le faisceau F<sub>1</sub>, superficiel, est en tout point semblable à celui des autres *Ptychostomum* ; par ailleurs, malgré leur importance, les faisceaux F<sub>3</sub> et F<sub>4</sub> se croisent en profondeur formant ainsi un V renversé. Ces analogies ne nous ont pas permis de créer un genre nouveau et nous pensons qu'il y a intérêt à conserver le genre *Ptychostomum*. En revanche, la présence constante de bactéries endozoïques, non

envacuolées dans son cytoplasme, justifie la nécessité de créer pour ce Cilié, l'espèce nouvelle *Ptychostomum bacteriophilus*.

### **Diagnose**

Commensal du tube digestif de *Alma nilotica* ; cellule ovoïde, avec une partie moyenne développée et une partie antérieure rétrécie ; 97-102  $\mu\text{m}$  X 71-76  $\mu\text{m}$  ; 48-52 cinéties également réparties sur les deux faces ; infundibulum à 1 tour de spire ; fréquence: 60 % ; abondance : environ 43 Ciliés par ver infesté; localité de récolte de l'hôte : Ebebda et Nkolbikogo

#### **III.1.1.2.2- Genre *Preptychostomum* de Puytorac, 1968a**

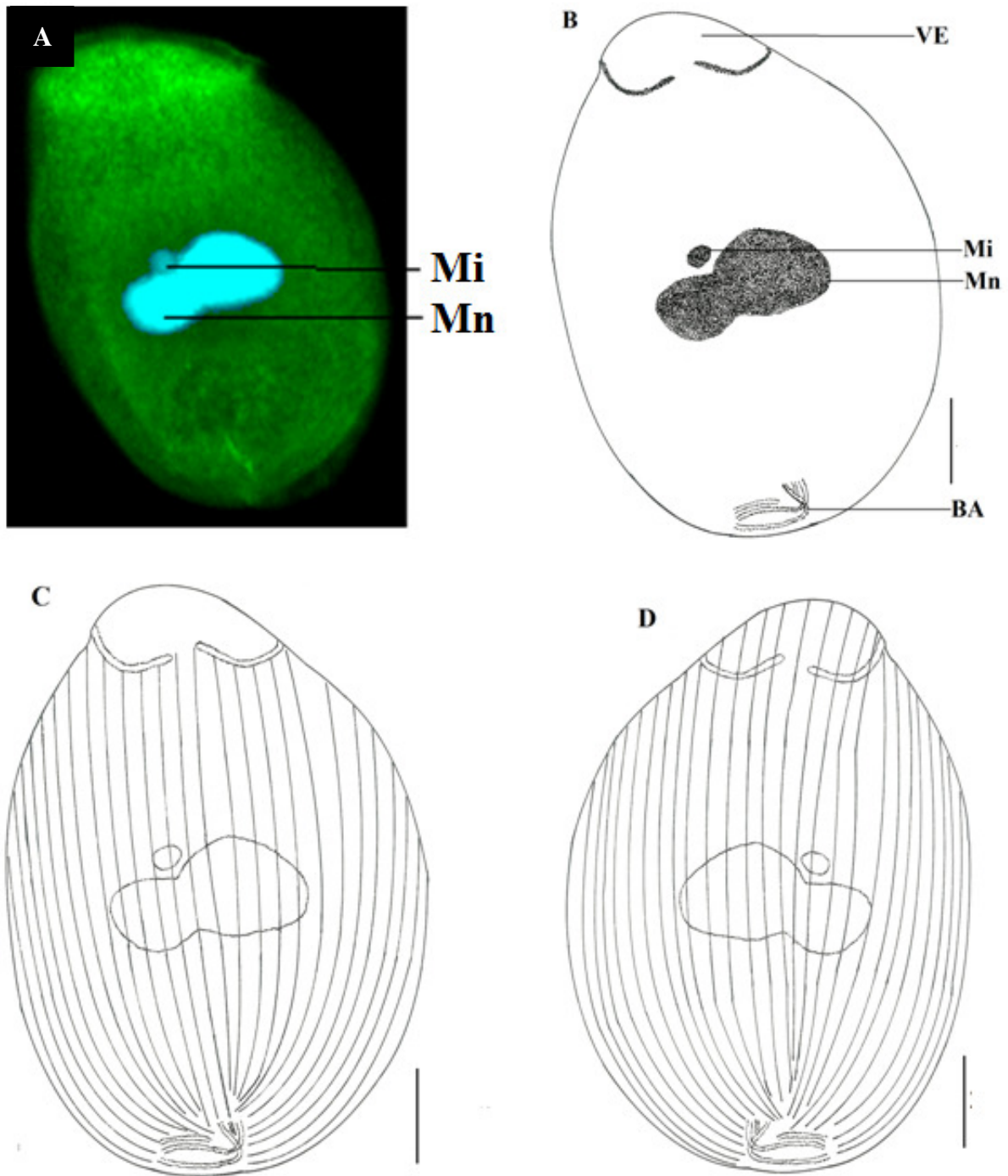
Les Ciliés appartenant au genre *Preptychostomum* sont généralement de forme globuleuse avec une très large cavité buccale, une aire antérieure dénudée plus ou moins développée sans fibres squelettiques, mais avec de nombreux segments de cinéties ciliés. Le macronoyau allongé, perpendiculaire à l'axe antéro-postérieur de la cellule est surmonté d'un gros micronoyau. On note la présence d'une vacuole pulsatile postérieure. Dans ce genre, nous avons récolté une espèce.

#### ***Preptychostomum ebebdaensis* n. sp.**

Ce Cilié cohabite avec *Preptychostomum magnum* Ngassam, Grain & Njiné, 1993, *P. microstomum* Ngassam, Grain & Njiné, 1993 et *P. katashimae* Ngassam, Grain & Njiné, 1993 dans la portion moyenne de l'intestin moyen de *Alma emini* récolté à Ebebda. Sa fréquence est de 94 % et son abondance moyenne est de 25 Ciliés par ver. La cellule est ovoïde, avec une partie antérieure légèrement rétrécie (Fig. 22 A et 22 B). Elle mesure 93 à 105  $\mu\text{m}$  de long sur 65 à 71  $\mu\text{m}$  dans sa plus grande largeur. L'appareil nucléaire est constitué d'un macronoyau en forme de massue mesurant 22 à 27  $\mu\text{m}$  de diamètre. Dans une dépression de ce macronoyau, est logé un micronoyau arrondi de 2,5  $\mu\text{m}$  de diamètre en moyenne.

La topographie ciliaire est constituée de 75 à 80 cinéties inégalement réparties sur les deux faces du Cilié : 20 à 23 recouvrent la face inférieure et 42 à 45, la face supérieure (Fig. 22 C et 22 D). Le trait saillant de la morphologie de ce Cilié concerne son appareil buccal, très minime, isolé dans une zone glabre de la partie postérieure du Cilié. La partie péristomienne mesure en moyenne 10  $\mu\text{m}$  de long et la partie infundibulaire 5  $\mu\text{m}$  de long.

La ventouse aplatie est ovoïde et mesure 27 à 35  $\mu\text{m}$  de large. Elle est bordée postérieurement par un bourrelet incomplet formant deux fines lèvres symétriques.



**Figure 22: *Preptychostomum ebeddaensis* n. sp.**

**A** : morphologie générale (coloration au DAPI) (X 1000) ; **B** : morphologie générale ; **C** : ciliature de la face supérieure ; **D** : ciliature de la face inférieure ; **BA** : appareil buccal ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **VE**: ventouse. Trait d'échelle : 20  $\mu$ m.

### **Affinités taxonomiques**

L'espèce décrite s'apparente par sa ciliature somatique générale à *Preptychostomum katashimae* de Puytorac, 1968a. Cependant, elle en diffère par sa forme ovoïde, et son appareil buccal très réduit, la rapprochant de *Preptychostomum microstomum* Ngassam, Grain & Njiné, 1993. Le Cilié décrit est morphologiquement voisin de *Preptychostomum magnum* Ngassam, Grain & Njiné, 1993 à la différence que chez cette dernière, la ciliature somatique est plus dense et l'aire thigmotactique réduit. Nous estimons qu'il s'agit d'une espèce nouvelle que nous nommons *Preptychostomum ebebdaensis* n. sp., du nom d'Ebebda : localité où l'hôte du Cilié a été récolté.

### **Diagnose**

Commensal du tube digestif de *Alma emini* récolté à Ebebda ; cellule ovoïde, avec une partie antérieure légèrement rétrécie ; 93-105  $\mu\text{m}$  X 71-76  $\mu\text{m}$  ; 20 à 23 cinéties recouvrent la face inférieure et 42 à 45, la face supérieure ; diamètre de la ventouse : 27-35  $\mu\text{m}$  ; fréquence : 94 % ; abondance moyenne : 25 cellules par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda.

### **III.1.1.2.3- Genre *Proptychostomum* Ngassam & Grain, 1997**

Nous avons trouvé dans ce genre une espèce nouvelle.

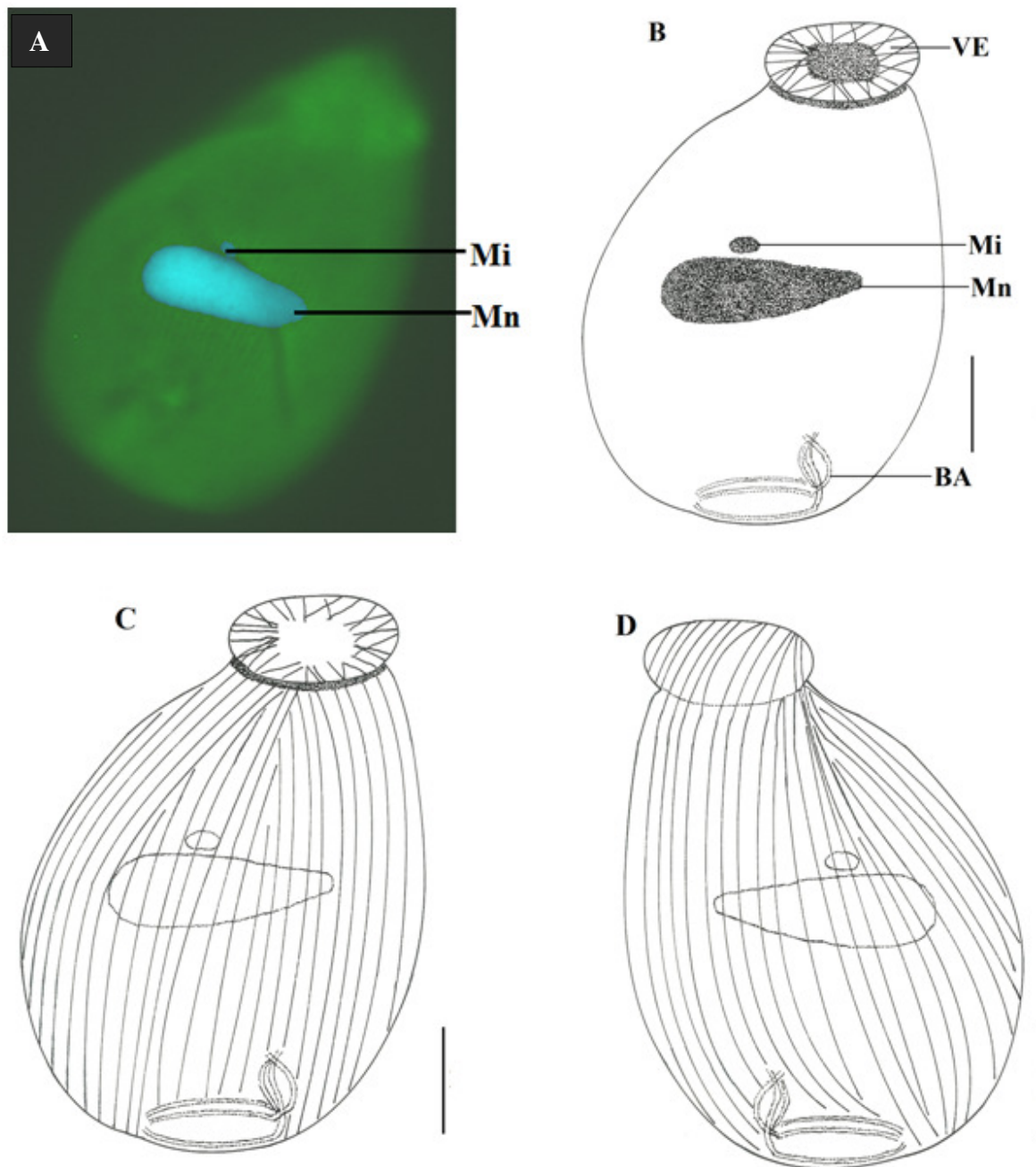
#### ***Proptychostomum gigas* n. sp.**

Cet infusoire serait le plus volumineux des Ciliés du genre *Proptychostomum*. Il cohabite les portions moyenne et postérieure du tube digestif de *Alma emini* avec les Ciliés du genre *Ptychostomum* où il se manifeste avec une fréquence de 35 % et une abondance moyenne de 25 Ciliés par ver. La cellule est piriforme avec une partie antérieure très rétrécie et une partie postérieure renflée (Fig. 23 A et 23 B). Elle mesure 125 à 138  $\mu\text{m}$  de longueur sur 80 à 85  $\mu\text{m}$  dans sa plus grande largeur. L'appareil buccal est développé. La région péristomienne, disposée perpendiculairement par rapport à l'axe antéro-postérieur, occupe plus de la moitié du pôle postérieur de la cellule dont elle épouse le contour. La région infundibulaire qui fait un angle d'environ 30° avec le péristome, est moins développée et se spiralise.

Le macronoyau cylindroïde, atteint 47 à 51  $\mu\text{m}$  de long sur 15 à 17  $\mu\text{m}$  de large. Il est disposé perpendiculairement à l'axe du Cilié. Un micronoyau arrondi, de 4 à 5  $\mu\text{m}$  de diamètre, se trouve en position antéro-dorsale par rapport au macronoyau.

L'aire thigmotactique circulaire est très réduite et ne mesure que 31 à 34  $\mu\text{m}$  de diamètre. On dénombre 29 à 32 fibres squelettiques rayonnantes, entrecroisées, prenant appui dans la partie profonde de la ventouse. Ces fibres ne sont ni regroupées en faisceaux ni disposées en

strates. La ciliature somatique comporte 40 à 44 cinéties, équitablement réparties sur les deux faces du Cilié (Fig. 23 C et 23 D).



**Figure 23: *Proptychostomum gigas* n. sp.**

**A** : morphologie générale (coloration au DAPI) (X 1000) ; **B** : morphologie générale ; **C** : ciliature de la face supérieure ; **D** : ciliature de la face inférieure ; **BA** : appareil buccal ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **VE**: ventouse. Trait d'échelle : 20  $\mu$ m.



### **Affinités taxonomiques**

Par l'allure générale de sa ventouse circulaire, le grand développement de son appareil buccal, cet infusoire rappelle *Ptychostomum macrostomum*. Cependant, le Cilié décrit diffère de *P. macrostomum* par la distribution des cinéties moins serrées sur ses deux faces et surtout la disposition des fibres squelettiques, radiaires, sans arrangement en faisceaux et en strates superposées. Un des traits saillant de notre Cilié réside dans sa morphologie piriforme, distincte chez *Proptychostomum commune* et *P. simplex* Ngassam & Grain, 1997, le nombre et la disposition des fibres squelettiques entrecroisées qui prennent appui dans la partie profonde de la ventouse. Le Cilié endocommensal de *Alma emini*, qui diffère des formes connues par de nombreux aspects, est probablement nouveau. Nous proposons de le nommer *Proptychostomum gigas* n. sp., nom qui fait référence à la grosseur de la cellule.

### **Diagnose**

Commensal du tube digestif d'*Alma emini* ; cellule piriforme, avec une partie antérieure rétrécie et une partie postérieure large ; 125-138  $\mu\text{m}$  X 80-85  $\mu\text{m}$  ; 40 à 44 cinéties, équitablement réparties sur les deux faces du Cilié ; ventouse circulaire : 31-34  $\mu\text{m}$  de diamètre ; péristome épousant le contour de la cellule ; infundibulum à un tour de spire ; fréquence : 35 % ; abondance moyenne : 23 Ciliés par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda et Nkolbikogo

### **III.1.1.2.4- Genre *Thurstonia* de Puytorac, 1968b**

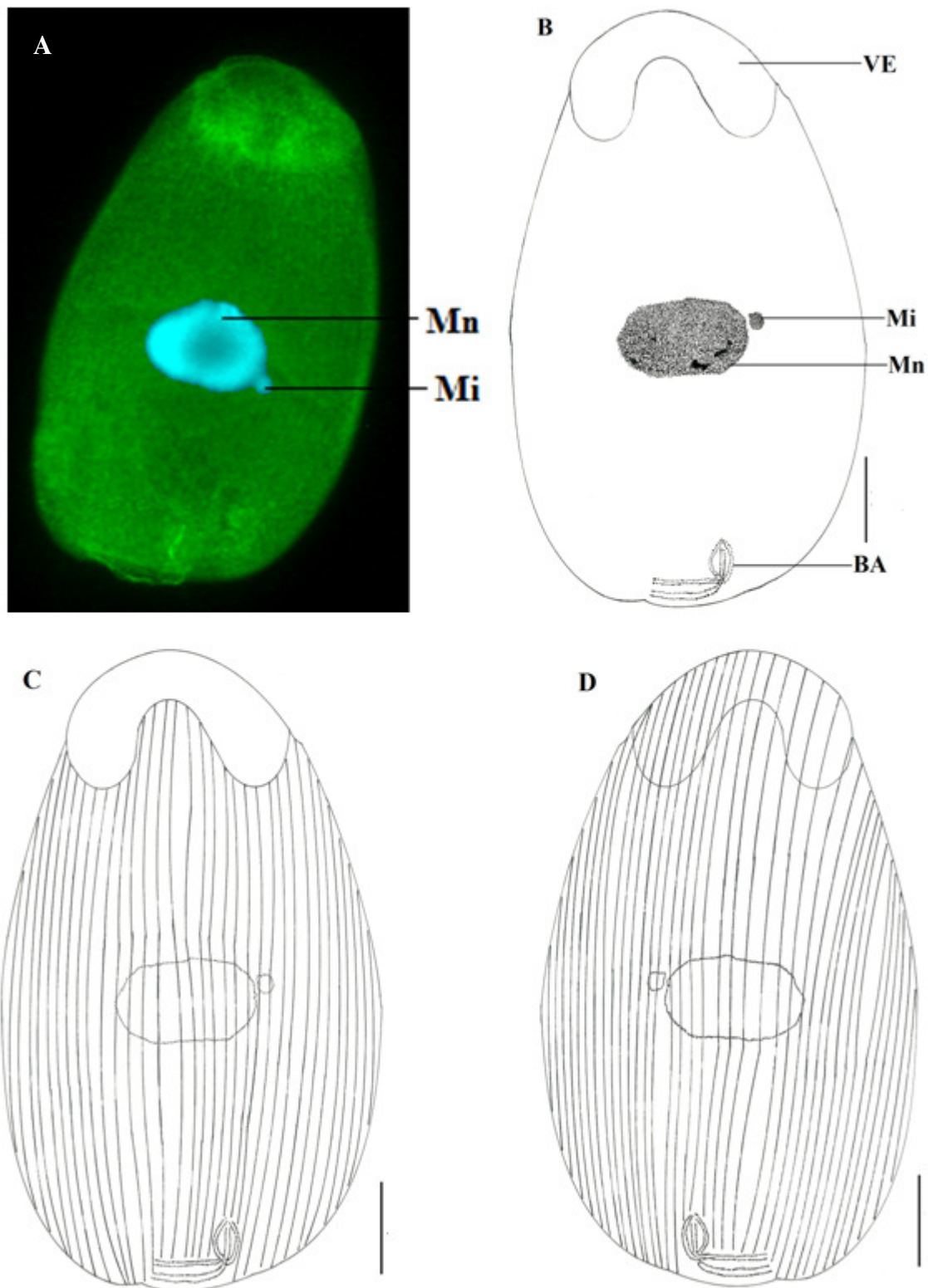
Dans ce genre, deux espèces nouvelles ont été trouvées et décrites.

#### **III.1.1.2.4.1- *Thurstonia emini* n. sp.**

Ce Cilié vit dans l'intestin postérieur de *Alma emini* récolté à Ebebda. Sa fréquence est de 45 % et son abondance moyenne 22 Ciliés par ver. La cellule est allongée, avec le pôle antérieur plus étroit que le pôle postérieur (Fig. 24 A et 24 B). Elle mesure en moyenne 105  $\mu\text{m}$  (90 à 115  $\mu\text{m}$ ) de long sur 48  $\mu\text{m}$  (40 à 55  $\mu\text{m}$ ) de large.

Le macronoyau est logé dans l'axe antéro-postérieur de la cellule et mesure en moyenne 11  $\mu\text{m}$  de diamètre. Il est flanqué d'un petit micronoyau arrondi mesurant en moyenne 2  $\mu\text{m}$  de diamètre.

La ciliature somatique est formée de 70 à 74 cinéties presque également réparties sur les deux faces, recouvrant la presque totalité de la cellule. Sur la face inférieure, 20 à 25 cinéties se prolongent dans la ventouse (Fig. 24 C et 24 D).



**Figure 24: *Thurstonia emini* n. sp.**

**A** : morphologie générale (coloration au DAPI) (X 1000) ; **B** : morphologie générale ; **C** : ciliature de la face supérieure ; **D** : ciliature de la face inférieure ; **BA** : appareil buccal ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **VE**: ventouse. Trait d'échelle : 20  $\mu$ m.

Les points saillants de la morphologie du Cilié décrit résident dans son macronoyau globuleux et son appareil buccal très réduit avec une partie péristomienne longue de 15 à 17  $\mu\text{m}$  et large de 2 à 3  $\mu\text{m}$ . La partie infundibulaire mesure seulement 5  $\mu\text{m}$  en moyenne. La ventouse a la forme d'un U renversé, profonde de 15  $\mu\text{m}$  en moyenne avec ses deux bras légèrement symétriques dépourvus de fibres squelettiques.

### **Affinités taxonomiques**

La morphologie générale de cet infusoire (cellule allongée, aire thigmotactique non ciliée dépourvue d'armature squelettique) la rapproche de *Thurstonia kaczanowskii* de Puytorac, 1968b et de *Thurstonia almae* Ngassam & Grain, 1998. Notre Cilié diffère cependant de tous les autres Ciliés connus du genre *Thurstonia* par le grand développement de son macronoyau logé dans l'axe antéro-postérieur de la cellule. Nous pensons qu'il s'agit d'une espèce nouvelle que nous proposons de nommer *Thurstonia emini* n. sp., nom qui fait référence à son hôte.

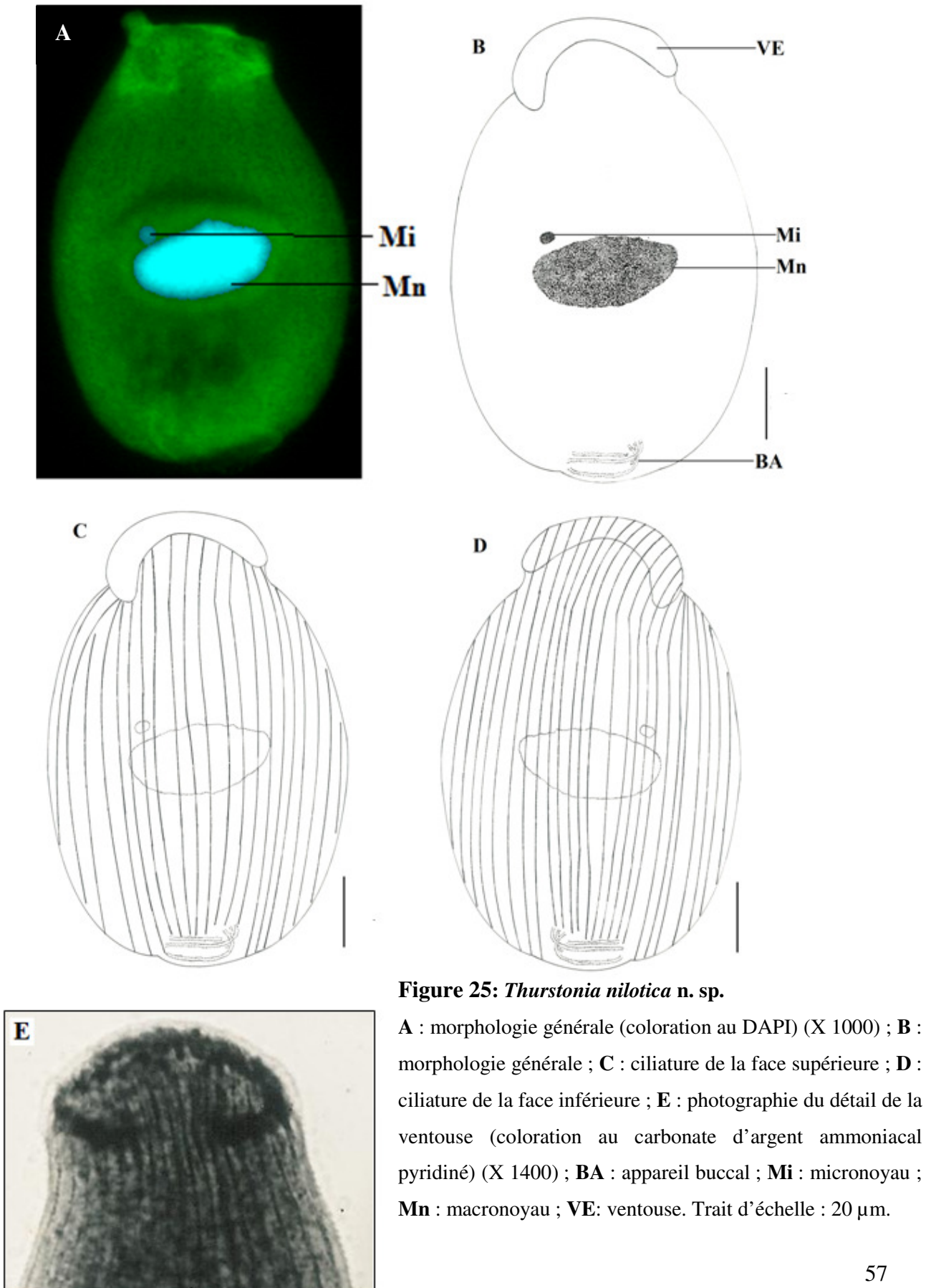
### **Diagnose**

Commensal du tube digestif de *Alma emini* récolté à Ebebda ; cellule allongée, avec le pôle antérieur plus étroit que le pôle postérieur tronqué ; 90-115  $\mu\text{m}$  X 40-55  $\mu\text{m}$  ; 70 à 74 cinéties, équitablement réparties sur les deux faces du Cilié ; ventouse en forme d'un U renversé ; fréquence : 45 % ; abondance moyenne : 22 Ciliés par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda

### **III.1.1.2.4.2- *Thurstonia nilotica* n. sp.**

Ce Cilié vit dans les portions moyenne et postérieure de l'intestin des *A. nilotica* récoltés à Ebebda et à Nkolbikogo. Sa fréquence est de 11 % et il cohabite avec *Thurstonia almae* Ngassam & Grain, 1998 et *T. kaczanowskii* de Puytorac, 1968b. La cellule est piriforme et atteint 110  $\mu\text{m}$  de long sur 85  $\mu\text{m}$  de large. La partie antérieure est rétrécie (20 à 25  $\mu\text{m}$  de large) et la partie postérieure renflée (55 à 65  $\mu\text{m}$ ) (Fig. 25 A et 25 B). L'appareil nucléaire est constitué par un macronoyau situé perpendiculairement à l'axe antéro-postérieur de la cellule. Ce macronoyau est ovalaire et mesure 25 à 28  $\mu\text{m}$  de long sur 10 à 15  $\mu\text{m}$  de large. Il est accroché dorsalement, d'un micronoyau sphérique de 2,5  $\mu\text{m}$  de diamètre moyen. Le corps du Cilié est recouvert de cils dont les cinétosomes forment de longues rangées parallèles entre elles. On dénombre 46 à 50 cinéties, inégalement réparties sur les deux faces du Cilié. Sur la face supérieure, on dénombre 20 à 22 cinéties clairsemées et sur la face inférieure 25 à 31 plus serrées (Fig. 25 C et 25 D). Comme chez l'espèce précédente, l'appareil buccal est réduit, avec une partie péristomienne longue de 10 à 15  $\mu\text{m}$  et large de 2 à 4  $\mu\text{m}$ . La partie infundibulaire

est très courte et mesure en moyenne 3  $\mu\text{m}$  de long. La ventouse, dépourvue de fibres squelettiques, a la forme d'un croissant lunaire renversé (Fig. 25 E).



### **Affinités taxonomiques**

Ce Cilié est proche de *Thurstonia emini* n. sp. par son aire thigmotactique non ciliée dépourvue d'armature squelettique. Les discordances s'observent d'une part au niveau de la forme plutôt allongée chez *T. emini* n. sp. et piriforme chez *T. nilotica* n. sp. ; d'autre part, par la forme et les dimensions de leur ventouse. Ces différences nous semblent suffisamment importantes pour justifier d'une nouvelle espèce que nous nommons *Thurstonia nilotica* en référence au nom de son hôte.

### **Diagnose**

Commensal du tube digestif des *Alma nilotica* récoltés à Ebebda et à Nkolbikogo ; cellule piriforme, partie antérieure rétrécie et partie postérieure renflée ; 110-114 µm X 85-92 µm ; 46 à 50 cinéties, inégalement réparties sur les deux faces du Cilié ; ventouse en forme de croissant lunaire renversé ; fréquence : 11 % ; abondance moyenne : 10 Ciliés par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda et Nkolbikogo

### **III.1.1.2.5- Genre *Ptychostomoïdes* Nana, Fokam, Ntougwa Ebague, Ngassam, Bricheux, Bouchard & Sime-Ngando, 2012**

Dans ce nouveau genre, ont été décrites trois espèces nouvelles

#### **III.1.1.2.5.1- *Ptychostomoïdes nilotica* Nana, Fokam, Ntougwa Ebague, Ngassam, Bricheux, Bouchard & Sime-Ngando, 2012**

Cette espèce a été retrouvée dans l'intestin moyen et postérieur de *Alma nilotica* récolté à Nkolbikogo. On dénombre en moyenne 45 Ciliés par ver et 80 % en moyenne des *Alma nilotica* hébergent ce Cilié. La cellule est ovalaire et arrondie aux extrémités. Elle mesure 74 à 82 µm de longueur sur 54 à 62 µm dans sa plus grande largeur (au niveau du macronoyau).

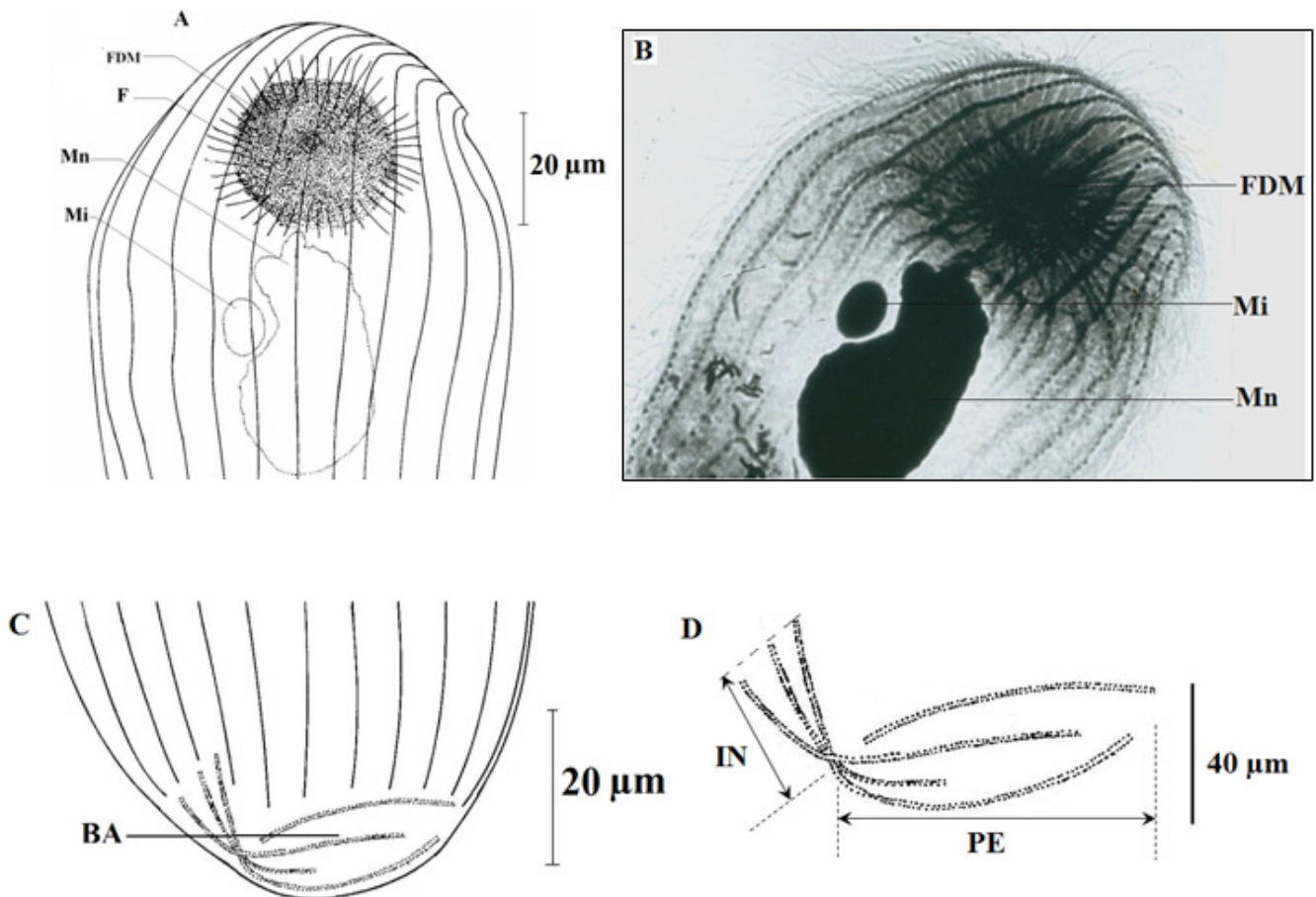
Le macronoyau est situé dans l'axe antéro-postérieur et repoussé vers le pôle antérieur où une excroissance le relie à l'aire thigmotactique. De forme cylindroïde, et mesurant 29 à 32 µm de long sur 18 à 21 µm dans sa plus grande largeur, il est flanqué, à l'avant dorsal, d'un micronoyau ovoïde de 4 µm de diamètre, logé dans une dépression de sa surface (Fig. 26 A et 26 B)

La ciliature somatique comporte 22 à 26 cinéties méridiennes, parallèles entre elles, également réparties sur les deux faces et à disposition bipolaire. Les cinéties de la face inférieure se terminent à l'avant au bord de la ventouse arrondie.

La région péristomienne de l'appareil buccal est très développée ; disposée obliquement par rapport à l'axe antéro-postérieur, elle occupe tout le pôle postérieur de la cellule dont elle

épouse le contour ; très étendue, elle mesure 48 à 52  $\mu\text{m}$  sur 16 à 19  $\mu\text{m}$  dans sa plus grande largeur (Fig. 26 C et 26 D).

Un des traits saillants du Cilié réside dans la structure cytoplasmique sous-tendant l'appareil antérieur de fixation. Celle-ci est en effet constituée d'un champ de matériau dense et occupant toute la ventouse et à partir duquel rayonnent de fines fibres.



**Figure 26: *Ptychostomoides nilotica*.**

**A** : pôle antérieur ; **B** : photographie du pôle antérieur (coloration au carbonate d'argent pyridiné) (X 1000) ; **C** : pôle postérieur ; **D** : détail de l'appareil buccal ; **BA** : appareil buccal ; **F** : fibres ; **FDM** : champ fibrillaire dense ; **IN** : infundibulum ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **PE** : péristome.

### Affinités taxonomiques

En suivant la diagnose des Ciliés Hysterocinetidés donnée par de Puytorac (1968), le caractère particulier de l'aire thigmotactique antérieure (réduite à une masse dense et indivise de structure fibrillaire sans différenciation de fibres squelettiques) nous semble distinctif au niveau du genre. C'est pourquoi nous créons pour ce Cilié le genre nouveau, *Ptychostomoides*.

L'espèce décrite de par sa morphologie, est voisine de *Preptychostomum microstomum* et *Preptychostomum magum* Ngassam, Grain & Njiné, 1993 à la différence que sa structure antérieure de fixation est constituée d'un champ de matériau dense occupant toute la ventouse et à partir duquel rayonnent de fines fibres. Cette particularité a conduit à créer pour le Cilié endocommensal de l'oligochète *Alma nilotica* une espèce nouvelle pour laquelle nous avons donné le nom *Ptychostomoïdes nilotica*, pour rappeler le ver de terre hôte.

### **Diagnose**

Aire thigmotactique antérieure réduite à une masse dense et indivise de structure fibrillaire sans différenciation de fibres squelettiques ; commensal du tube digestif d'*Alma nilotica* ; cellule ovalaire et arrondie aux extrémités ; 74 à 82  $\mu\text{m}$  sur 54 à 62  $\mu\text{m}$  ; 22 à 26 cinéties à disposition bipolaire, également réparties sur les deux faces ; infundibulum à 1 tour de spire ; fréquence : 80 % ; abondance moyenne : 45 Ciliés par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Nkolbikogo.

### **III.1.1.2.5.2- *Ptychostomoïdes gigas* Nana, Fokam, Ntougwa Ebage, Ngassam, Bricheux, Bouchard & Sime-Ngando, 2012**

Cet infusoire est incontestablement le plus gros Cilié du genre *Ptychostomoïdes* rencontré dans le tube digestif des *Alma nilotica*. Le nombre de spécimens rencontrés varie entre 10 et 18 par ver et rien que 5 % des *Alma nilotica* hébergent ce Cilié. On le rencontre en effet dans l'intestin moyen, en cohabitation avec *Ptychostomum macrostomum* et dans l'intestin postérieur avec *Kozloffia catenula*. La cellule, allongée, avec une partie antérieure plus étroite que la partie postérieure et terminée par une ventouse, mesure 135 à 146  $\mu\text{m}$  de long sur 72 à 78  $\mu\text{m}$  dans sa plus grande largeur.

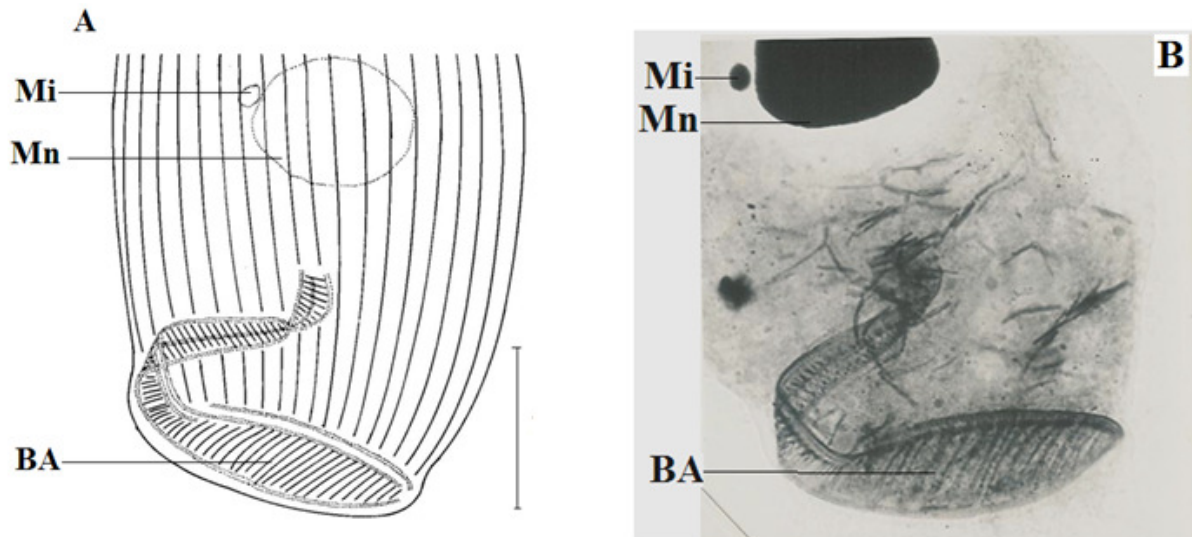
Le macronoyau, médian et arrondi, mesure 28 à 32  $\mu\text{m}$  de diamètre et est disposé dans l'axe antéro-postérieur de la cellule. Il est flanqué dorsalement d'un micronoyau mesurant 2,5  $\mu\text{m}$  de diamètre (Fig. 27 A et 27 B).

La topographie ciliaire est formée de 39 à 44 cinéties inégalement réparties sur les deux faces, recouvrant la totalité de la cellule. Sur la face inférieure, on en dénombre 18 à 20. Ces cinéties, dans la région médiane, ont un écartement de 4,5  $\mu\text{m}$  et 2,5  $\mu\text{m}$  dans les régions latérales. Sur la face supérieure, elles ont une distribution homogène.

L'appareil buccal est développé avec une partie péristomienne longue de 45 à 48  $\mu\text{m}$  sur 18 à 20  $\mu\text{m}$  de large. Disposé obliquement par rapport à l'axe antéro-postérieur de la cellule, elle occupe tout le pôle postérieur de la cellule dont elle épouse le contour. De même, la région infundibulaire prend un développement considérable qui permet à la cellule d'ingérer les

bactéries ; longue de 36 à 41  $\mu\text{m}$ , cette région se spiralise en formant deux boucles, elle fait un angle de  $60^\circ$  avec la région péristomienne et remonte jusqu'au tiers moyen de la cellule (Fig. 27).

La ventouse est semblable à celle de l'espèce précédente : sorte de bouton adhésif avec un réseau de fines fibres squelettiques disposées radialement.



**Figure 27: *Ptychostomoïdes gigas*.**

**A** : pôle postérieur ; **B** : photographie du pôle postérieur (coloration au carbonate d'argent pyridiné) (X 1400) ; **BA** : appareil buccal ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau. Trait d'échelle : 30  $\mu\text{m}$ .

### Affinités taxonomiques

Par l'allure générale et la grande taille de la cellule, le grand développement de l'appareil buccal, la forme du macronoyau, ce Cilié se distingue de l'espèce précédente dont il ne se rapproche que par la constitution de l'appareil adhésif. L'espèce peut être tenue pour nouvelle et nous la dénommons *Ptychostomoïdes gigas*, en référence à sa grande taille.

### Diagnose

Commensal du tube digestif d'*Alma nilotica* ; cellule allongée, avec une partie antérieure plus étroite que la partie postérieure ; 135-146  $\mu\text{m}$  X 72-78  $\mu\text{m}$  ; 39-44 cinéties inégalement réparties sur les deux faces de la cellule ; infundibulum à 1 tour de spire ; fréquence : 5 % ; abondance moyenne : 14 cellules par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda et Nkolbikogo

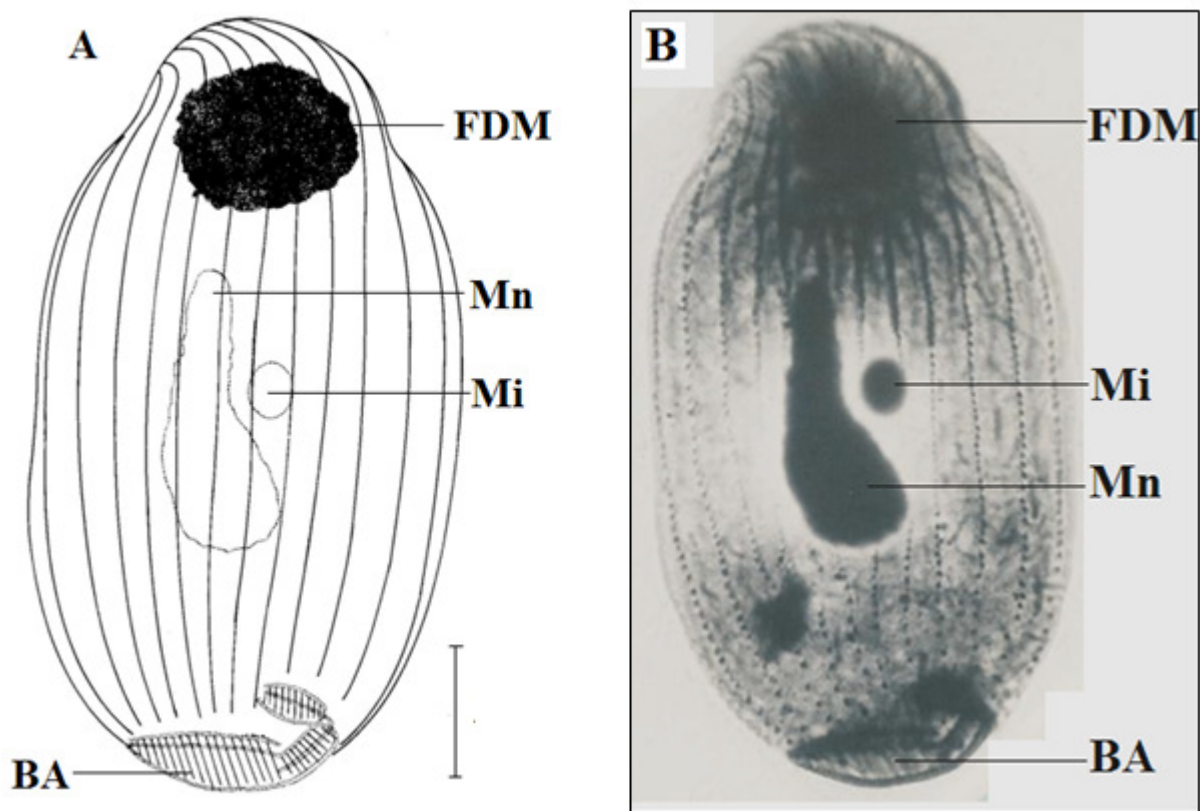


### III.1.1.2.5.3- *Ptychostomoides minus* Nana, Fokam, Ntougwa Ebague, Ngassam, Bricheux, Bouchard & Sime-Ngando, 2012

Ce Cilié vit dans l'intestin moyen et dans l'intestin postérieur des *Alma nilotica*. On dénombre en moyenne 10 Ciliés par ver et 11 % en moyenne des vers hébergent ce Cilié. La cellule est ovale et mesure 56 à 62  $\mu\text{m}$  de longueur sur 34 à 36  $\mu\text{m}$  de largeur.

Le macronoyau, trapu, est rétréci dans sa moitié antérieure et relativement développé dans sa moitié postérieure. Il est disposé dans l'axe antéro-postérieur de la cellule, plus près de la face inférieure. Il est flanqué d'un micronoyau ovoïde, qui mesure 4  $\mu\text{m}$  de diamètre et qui est toujours situé dorsalement (Fig. 28 A et 28 B).

On dénombre 24 à 28 cinéties également réparties sur les deux faces du Cilié. L'appareil buccal est petit ; la partie péristomienne longue de 18 à 21  $\mu\text{m}$  donne accès à une partie infundibulaire très courte : 7 à 9  $\mu\text{m}$ . L'aire thigmotactique, dépourvue de fibres, forme une zone sombre dans la partie antéro-inférieure de la cellule.



**Figure 28:** *Ptychostomoides minus*.

A : morphologie générale ; B : photographie (coloration au carbonate d'argent pyridiné) (X 1000) ; BA : appareil buccal ; FDM : champ fibrillaire dense ; Mi : micronoyau ; Mn : macronoyau. Trait d'échelle : 10  $\mu\text{m}$ .

### **Affinités taxonomiques**

L'aire thigmotactique, qui forme une zone sombre dans la partie antéro-inférieure de la cellule, a la même constitution que celle des deux espèces précédentes (*Ptychostomoïdes nilotica* et *P. gigas*) appartenant au même genre. Cependant, la différence réside au niveau de son macronoyau en forme de massue et surtout de la taille de la cellule relativement petite. C'est pourquoi nous créons pour ce Cilié l'espèce nouvelle *Ptychostomoïdes minus*.

Notons que l'architecture squelettique de l'appareil thigmotactique est considérée comme un caractère fondamental dans la définition des genres chez les Hysterocinetidés. De ce point de vue, l'ossature de l'appareil adhésif des Ciliés *Ptychostomoïdes nilotica* ; *Ptychostomoïdes gigas* et *Ptychostomoïdes minus* faite d'un champ dense de substance fibrillaire, à origine probablement infraciliaire et sans équivalent chez aucun genre, constitue bien un nouveau genre que nous dénommons *Ptychostomoïdes*.

### **Diagnose**

Commensal du tube digestif de *Alma nilotica* ; cellule allongée, avec une partie antérieure plus étroite que la partie postérieure ; 56-62  $\mu\text{m}$  X 34-36  $\mu\text{m}$  ; 24 à 28 cinéties également réparties sur les deux faces du Cilié ; infundibulum à 1 tour de spire ; fréquence : 11 % ; abondance moyenne : 10 Ciliés par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda et Nkolbikogo.

#### **III.1.1.2.6- Genre *Proptychostomoïdes* Nana, Fokam, Ntougwa Ebague, Ngassam, Bricheux, Bouchard & Sime-Ngando, 2012**

Dans ce genre, une espèce nouvelle a été retrouvée et décrite.

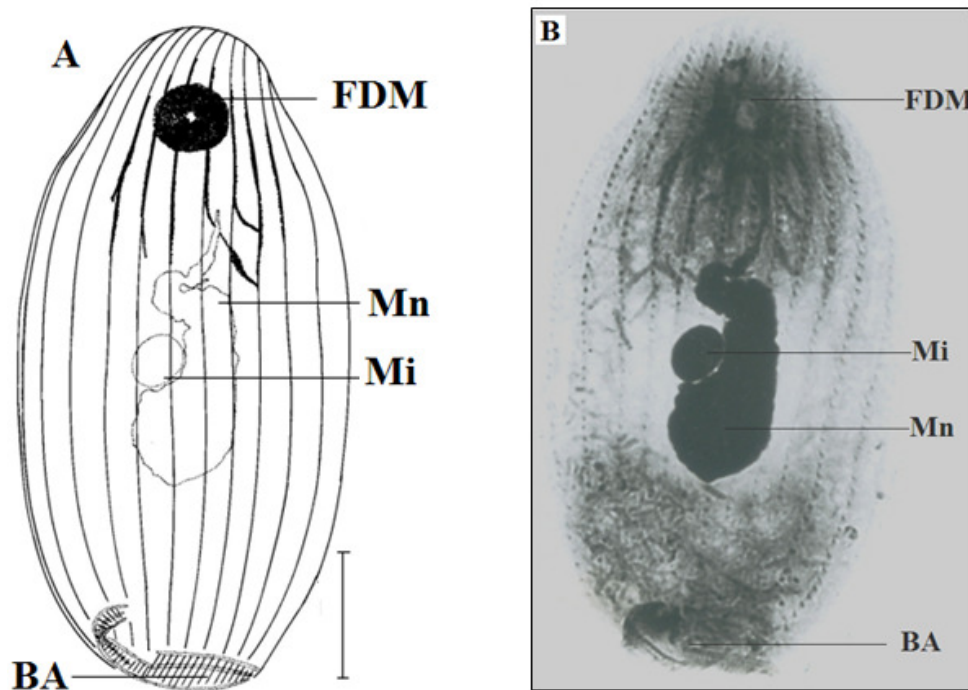
#### ***Proptychostomoïdes camerounensis* Nana, Fokam, Ntougwa Ebague, Ngassam, Bricheux, Bouchard & Sime-Ngando, 2012**

Ce Cilié, de forme allongée, à section circulaire (Fig. 29 A et 29 B), est de petite taille ; 52  $\mu\text{m}$  (50 à 55  $\mu\text{m}$ ), 27  $\mu\text{m}$  (25 à 30  $\mu\text{m}$ ). Nous l'avons trouvé en cohabitation avec *Metaptychostomum graini*, *M. ebebdæ*, et *Ptychostomum bacteriophilus* dans l'intestin moyen et postérieur de *Alma emini*. On compte en moyenne 15 Ciliés par oligochète et 20 % en moyenne des vers l'hébergent.

L'appareil nucléaire, médian, est toujours situé dans l'axe antéro-postérieur de la cellule plus près de la face inférieure. Il se compose d'un macronoyau cylindroïde (17 à 20  $\mu\text{m}$  de longueur sur 10 à 12  $\mu\text{m}$  dans sa plus grande largeur située postérieurement), et d'un gros

micronoyau arrondi (4,5  $\mu\text{m}$  de diamètre) toujours placé sur la face antéro-dorsale du macronoyau.

Le corps du Cilié est recouvert de cils dont les cinétosomes forment de longues rangées parallèles entre elles. Ainsi, on dénombre en moyenne 22 cinéties également réparties sur les deux faces du Cilié. L'appareil buccal est court avec une partie péristomienne de 9 à 11  $\mu\text{m}$  de longueur et une partie infundibulaire tout aussi réduite, faisant avec la dernière un angle d'environ  $120^\circ$  C.



**Figure 29:** *Proptychostomoides camerounensis*

**A** : morphologie générale ; **B** : photographie (coloration au carbonate d'argent pyridiné) (X 1200) ; **BA** : appareil buccal ; **FDM** : champ fibrillaire dense ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau. Trait d'échelle : 10  $\mu\text{m}$ .

### Affinités taxonomiques

Un des traits saillants du Cilié réside dans la structure de l'appareil antérieur de fixation. Celui-ci est constitué, comme le genre *Ptychostomoides*, d'un champ fibrillaire, formant une masse dense et indivise ; toutefois, on note la présence d'une aire glabre très discrète et arrondie, dans la région centrale de ce champ et sans équivalent d'autres genres. Des fibres squelettiques, calquées sur l'ordonnement des cinéties de la face inférieure, partent de ce champ. Nous pensons nous trouver en présence d'un nouveau genre que nous dénommons

*Proptychostomoïdes* et l'espèce type *Proptychostomoïdes camerounensis*, nom qui rappelle le pays d'origine.

### **Diagnose**

Possède une aire glabre au centre du champ fibrillaire dense antérieur. Espèce type : *Proptychostomoïdes camerounensis* n.sp. Commensal du tube digestif d'*Alma nilotica* ; cellule allongée, à section circulaire ; 50-55 µm X 25-30 µm ; 22 cinéties en moyenne, également réparties sur les deux faces du Cilié ; infundibulum à 1 tour de spire ; fréquence : 20 % ; abondance moyenne : 15 cellules par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda et Nkolbikogo

### **III.1.1.2.7- Révision des voies de diversification morphologique des Hysteroconetia**

L'existence des genres nouveaux *Ptychostomoïdes* et *Proptychostomoïdes* nous conduit à une révision de la diversification des Hysteroconetia. L'infaciliature buccale étant d'une structure de base remarquablement homogène pour tous les genres étudiés, la diversification morphologique des espèces semble avoir porté essentiellement, sur la structure de la ventouse (Fig. 30).

On peut supposer que le type de ventouse le plus primitif est celui d'une aire thigmotactique sans ciliature propre, distincte du reste de la ciliature somatique, et sans cytosquelette (*Hysteroconetoides-Thurstonia-Amietia*). A partir d'un tel archétypique, l'évolution aurait pu mener, d'une part, à l'isolement de portions antérieures de cinéties s'organisant en un ensemble ciliaire autonome, d'autre part à l'acquisition et au développement de fibres et/ou de matériau squelettique, selon des dispositifs différents et de plus en plus complexes.

Se limitant aux seules espèces commensales des vers de terre Glossoscolecoidae, on peut imaginer à partir d'une lignée *Hysteroconetoides-Thurstonia-Amietia*, divergente du type *Kozloffia* (une trame de fines fibres étalée sur toute la surface de la ventouse et d'orientation générale antéro-postérieure), l'émergence d'un rameau à base *Preptychostomum* (quelques segments de cinéties dans la dépression thigmotactique, sans cytosquelette) lui-même divergent, d'une part en la lignée *Ptychotomoides* (aire thigmotactique constituée d'un champ fibrillaire dense), *Metaptychostomum*, *Ptychostomum* (fibres squelettiques en strates superposées et antagonistes, d'autre part en la lignée *Proptychostomoïdes* (aire glabre au centre du champ fibrillaire dense), *Proptychostomum* (fibres squelettiques à disposition rayonnante).

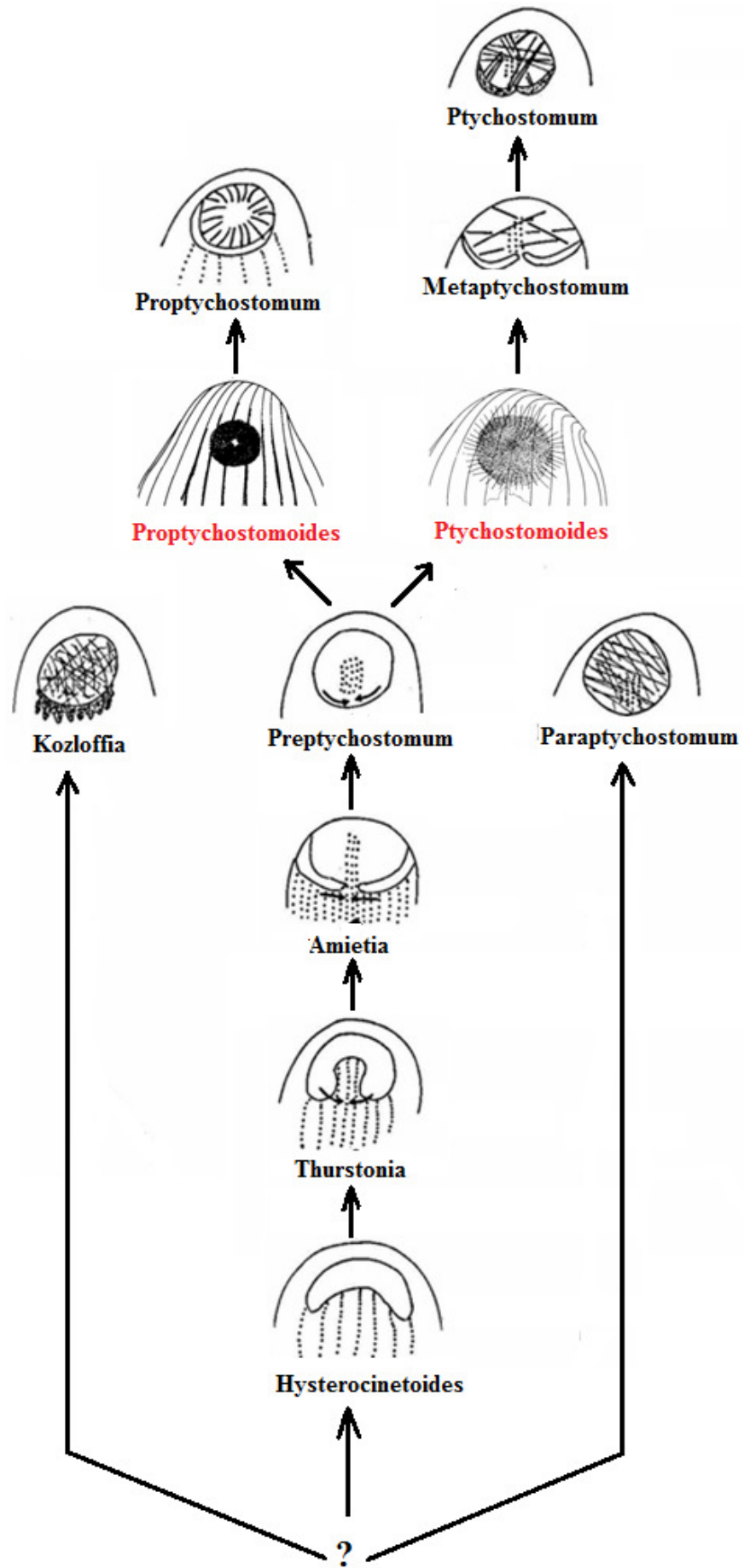


Figure 30: Schéma de diversification morphologique des Hysteroecinetia.

### III.1.1.3- Astomes

Dans ce groupe d'infusoires Ciliés, nous avons récolté sept espèces appartenant à trois familles.

#### III.1.1.3.1- Famille des Anoplophryidae Cépède, 1910

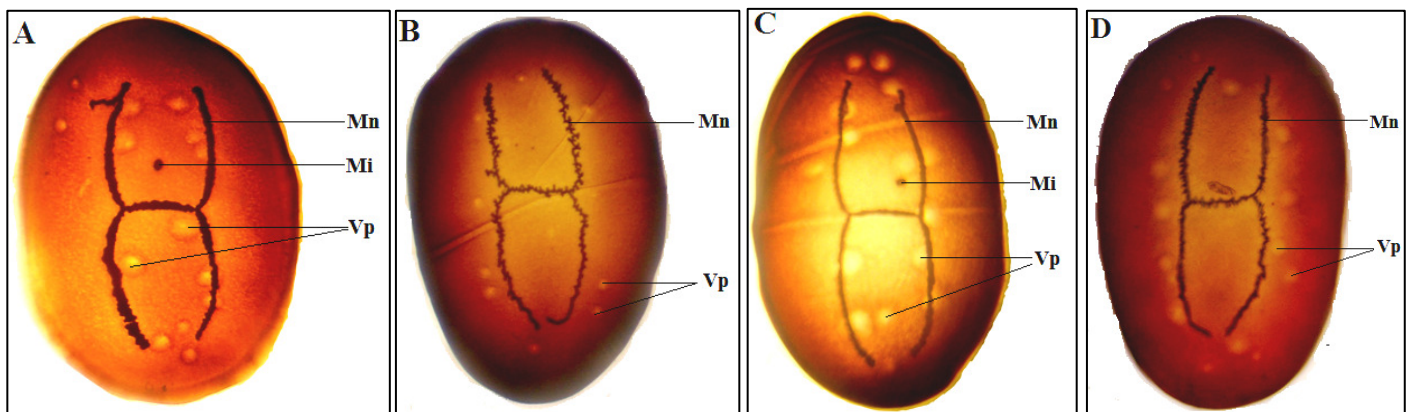
Dans cette famille, nous avons récolté quatre espèces appartenant à deux genres : *Almophrya* de Puytorac & Dragesco, 1968 et *Anoplophrya* Stein, 1860.

##### III.1.1.3.1.1- Genre *Almophrya* de Puytorac & Dragesco, 1968

Trois espèces du genre *Almophrya* ont été récoltées et redécrites. Un accent particulier a été mis sur les variations morphologiques de leur appareil nucléaire.

##### III.1.1.3.1.1.1- *Almophrya laterovacuolata* de Puytorac & Dragesco, 1968

Selon la description de de Puytorac & Dragesco (1968), ce Cilié infeste les parties antérieure et moyenne des *Alma*. De forme généralement ovoïde, il cohabite avec *A. mediovacuolata* Ngassam, 1983b et *A. bivacuolata* de Puytorac & Dragesco, 1968 dans les portions antérieure et moyenne du tube digestif des *Alma emini* récoltés à Ebebda (Fig. 31). *A. laterovacuolata* se distingue d'autres *Almophrya* d'une part, par sa population homogène constituée de cellules, toutes de grandes tailles (530 à 1220 µm de long sur 370 à 820 µm de large) et d'autre part par son appareil vacuolaire très variable.



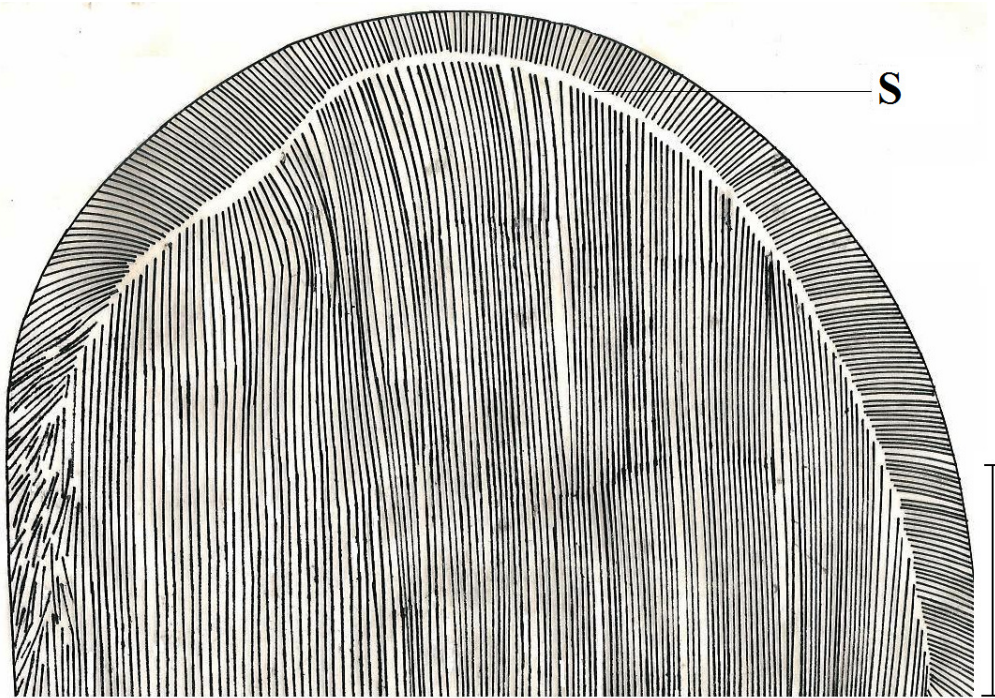
**Figure 31: Photographies de *A. laterovacuolata* (coloration au carbonate d'argent pyridiné) (X 1000).**

**A** : deux rangées longitudinales de vacuoles inégalement répartis entre les branches du macronoyau ; **B** : deux rangées longitudinales de vacuoles inégalement répartis, hors des branches du macronoyau ; **C** : vacuoles sans ordre évident entre les branches du macronoyau ; **D** : deux rangées longitudinales de vacuoles inégalement repartis, hors des branches du macronoyau ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **Vp** : vacuole pulsatile.

On dénombre 9 à 23 vacuoles pulsatiles disposées soit:

- en deux rangées longitudinales inégalement répartis entre les branches du macronoyau (Fig. 31 A) ;
- en deux rangées longitudinales inégalement répartis, hors des branches du macronoyau (Fig. 31 B et 31 D) ;
- sans ordre évident entre les branches du macronoyau (Fig. 31 C).

Le macronucléus occupe toute la région axiale de la cellule et mesure 340 à 840  $\mu\text{m}$  de long sur 140 à 460  $\mu\text{m}$  de large. Il prend toujours une silhouette en H avec ses branches pourvues de nombreuses digitations. Notons que chez certaines cellules, les branches du macronoyau sont plus ou moins régulières et fortement dentelées. Le micronoyau unique, ovalaire et à disposition médiane mesure en moyenne 15  $\mu\text{m}$  de diamètre.



**Figure 32 : Infraciliature de la partie antérieure de la face inférieure de *A. laterovacuolata***  
S : ligne de suture. Trait d'échelle : 50  $\mu\text{m}$ .

Chez les ciliés *Almophrya* en général, la topographie ciliaire est bâtie sur le même plan d'organisation. Les stries ciliaires serrées, longitudinales et régulièrement espacées recouvrent les deux faces du Cilié. Chez *A. laterovacuolata*, on dénombre 248 à 369 cinéties sur la face supérieure et 225 à 310 sur la face inférieure. Sur la partie antérieure de la face inférieure, se dessine une zone de raccord des cinéties qui descend plus longuement sur le côté

gauche de la cellule (Fig. 32). Sur les faces latérales de la cellule, s'étalent une zone de délimitation des stries.

### III.1.1.3.1.1.2- Variations morphométriques de l'appareil nucléaire chez *A. bivacuolata* et *A. mediovacuolata*

#### *Almophrya bivacuolata*

*Almophrya bivacuolata* possède toujours deux vacuoles, situées chacune entre les branches du macronoyau. On peut trouver trois types cellulaires selon la taille : les cellules Hp de petite taille (270 µm en moyenne), les cellules Hm de taille moyenne (400 µm en moyenne) et les cellules Xg de grande taille (500 µm en moyenne).

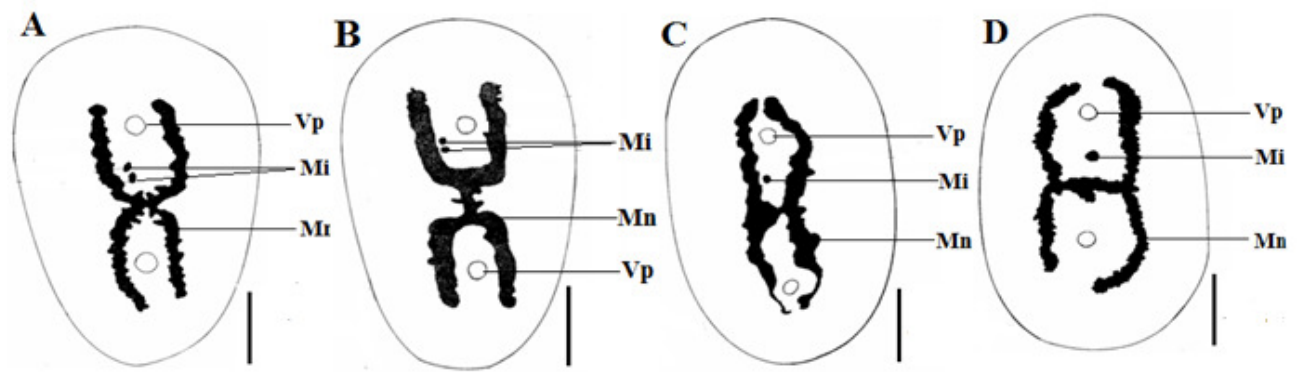
**Tableau I: Caractéristiques morphométriques de l'appareil nucléaire chez *A. bivacuolata***

Types cellulaires		Hp	Hm	Xg	
Aspect du Mn		H	H	X	
Macronoyau (Mn)	Longueur (µm)	Min.	95	105	180
		Max.	251	390	410
	m ± sd		176 ± 45,38	224,70 ± 78,57	325,50 ± 68,80
	Largeur (µm)	Min.	35	75	70
		Max.	115	135	180
	m ± sd		70,72 ± 21,87	101,57 ± 17,95	113 ± 22,21
Nombre de Mi		1	1	2	
Micronoyau (Mi)	Diamètre (µm)	Min.	5	8	7
		Max.	18	21	22
	m ± sd		8,26 ± 3,31	13 ± 4,59	12,02 ± 3,94

m : moyenne ; sd : écart type ; Hp : cellules de petite taille ; Hm : cellules de taille moyenne ; Xg : cellules de grande taille ; Min : minimum ; Max : maximum ;

L'appareil nucléaire de *A. bivacuolata* est constitué du macronoyau et d'un ou deux micronoyau. Chez les cellules Hp et Hm, le macronoyau varie de 95 à 251 µm long sur 35 à 115 µm de large pour les cellules Hp et de 105 à 390 µm de long contre 75 à 135 µm de large pour les cellules Hm (Tableau 1). Le macronoyau des cellules de la population Xg sont de très grande taille, il varie en moyenne de 326 µm de long et de 113 µm de large.





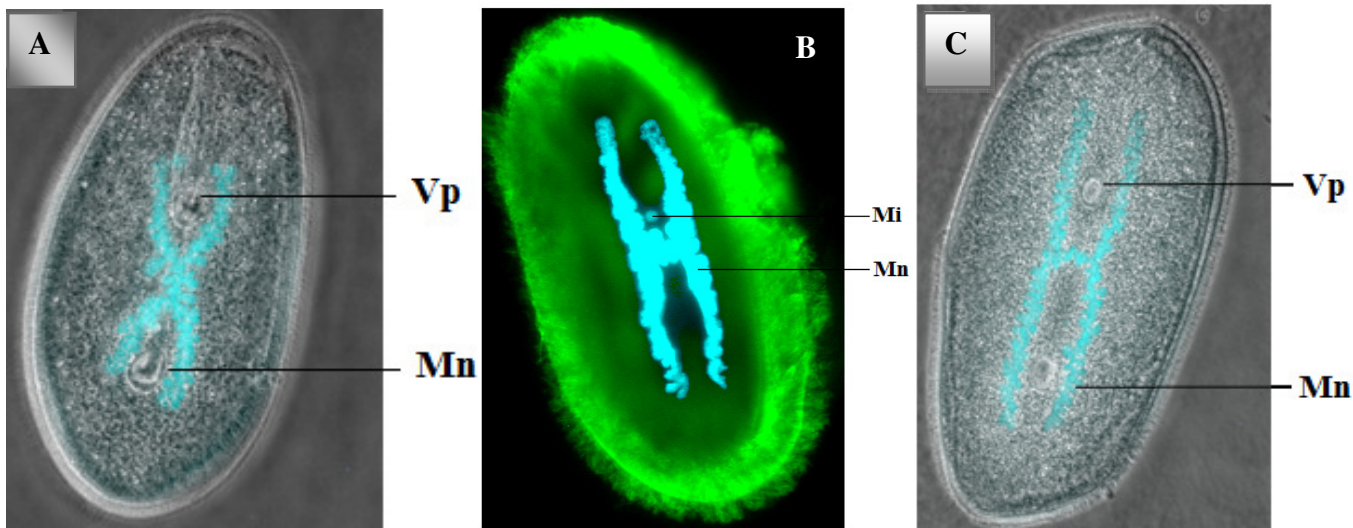
**Figure 33 : Variations morphologiques de l'appareil nucléaire chez *A. bivacuolata*.**

**A** : macronoyau en X et deux micronoyaux ; **B** : macronoyau de forme transitoire entre X et H avec deux micronoyaux ; **C-D** : macronoyau en H et un micronoyau ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **Vp** : vacuole pulsatile. Trait d'échelle : 100  $\mu\text{m}$ .

Chez *A. bivacuolata*, le macronoyau a l'allure générale d'un chromosome avec deux branches qui ressemblent à des chromatides réunies au niveau d'un centromère (Fig. 33). Cette forme de chromosome varie cependant du X au H (Fig. 33 A-D). La forme en X, parfois fortement pourvue d'excroissances et de digitations, est caractéristique des cellules de grande taille (Xg). La forme en H porte sur ses branches de très nombreuses excroissances. Cette forme est caractéristique des cellules petites et moyennes, Hp et Hm (Fig. 33 C-D). Il existe également une forme intermédiaire entre le macronoyau en H et en X (Fig. 33 B) avec deux U unis à leur base par un pont.

La figure 34 présente les formes en X (Fig. 34 A) et en H (Fig. 34 B-C) de ces noyaux et de part et d'autres deux vacuoles pulsatiles, ainsi que les excroissances et les digitations des macronoyaux. Les Ciliés *A. bivacuolata* ont toujours été considérés comme possédant uniquement des macronoyaux en X. Avant la division, le macronoyau se condense en masse ovoïde. Après la division, il reprend progressivement la forme en H très festonnée et irrégulière. Les extrémités des branches latérales tendent à se rejoindre pour emprisonner la vacuole pulsatile.

Situé entre les branches supérieures du macronoyau, le micronoyau ovoïde est unique chez les cellules Hm et Hp ; double chez les cellules Xg (Fig. 33 A).



**Figure 34 : Photographie de l'appareil nucléaire d'*A. bivacuolata* en microscopie à fluorescence, mettant en évidence les excroissances et les digitations (X 1000).**

**A** : macronoyau en forme de X ; **B** : macronoyau transitoire entre X et H ; **C** : macronoyau en forme de H ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **Vp** : vacuole pulsatile.

### *Almophrya mediovacuolata*

Les Ciliés *A. mediovacuolata*, en fonction de leur taille présentent quatre types cellulaires : les cellules Pm de petite taille (260  $\mu\text{m}$  en moyenne) à deux micronoyaux; Mm de taille moyenne (370  $\mu\text{m}$  en moyenne) à un micronoyau ; Gm1 et Gm2 de grande taille (785  $\mu\text{m}$  en moyenne) respectivement à un et à deux micronoyaux.

**Tableau II: caractéristiques morphométriques de l'appareil nucléaire chez *A.***

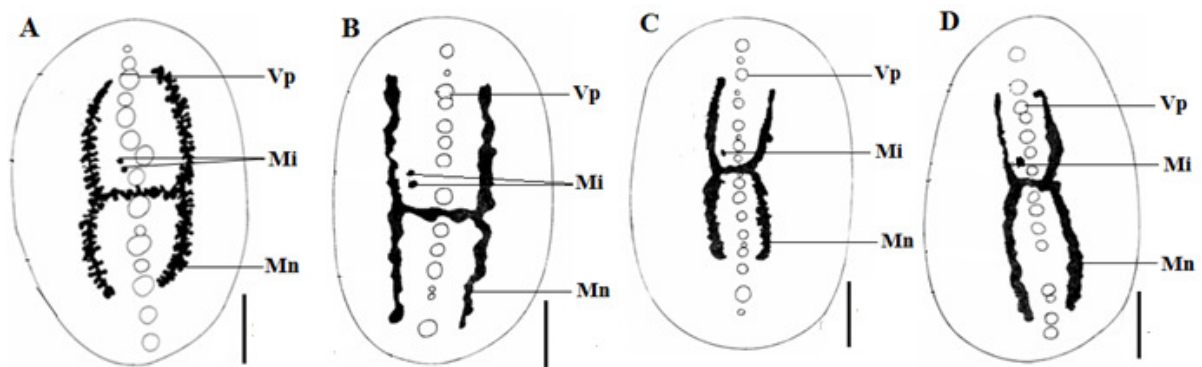
### *mediovacuolata*

Types cellulaires			Pm	Mm	Gm1	Gm2
Aspect du Mn			H non dentelé	H peu dentelé	H très dentelé	H très dentelé
Macronoyau (Mn)	Longueur ( $\mu\text{m}$ )	Min.	90	125	210	195
		Max.	248	400	500	555
	m $\pm$ sd		170,40 $\pm$ 52,82	244,60 $\pm$ 69,86	357,03 $\pm$ 78,20	407,67 $\pm$ 101,01
	Largeur ( $\mu\text{m}$ )	Min.	40	80	90	80
Max.		94	210	200	275	
m $\pm$ sd		64,56 $\pm$ 13,76	122,06 $\pm$ 28,57	130,73 $\pm$ 33,23	140,27 $\pm$ 49,49	
Nombre de Mi			2	1	1	2
Micronoyau (Mi)	Diamètre ( $\mu\text{m}$ )	Min.	5	8	9	8
		Max.	15	21	22	20
	m $\pm$ sd		8,57 $\pm$ 2,85	12,33 $\pm$ 3,63	12,83 $\pm$ 3,72	11,73 $\pm$ 3,57

m : moyenne ; sd : écart type ; Pm : petite taille ; Mm : taille moyenne ; Gm1 : grande taille à un micronoyau ; Gm2 : grande taille à deux micronoyau ; Min : minimum ; Max : maximum ;

Ces Ciliés se caractérisent par une rangée axiale de vacuoles pulsatiles (7 à 10) disposées entre les deux branches verticales du macronoyau. Les caractéristiques morphométriques et l'appareil nucléaire de *A. mediovacuolata* sont mentionnées dans le tableau 2.

Le macronoyau prend généralement l'aspect du H quelle que soit la taille ou le type cellulaire (Fig. 35) ; les branches sont plus dentelées chez les cellules de petite taille (Fig. 35 A) que chez celles ayant une taille moyenne à grande (Fig. 35 B-D).



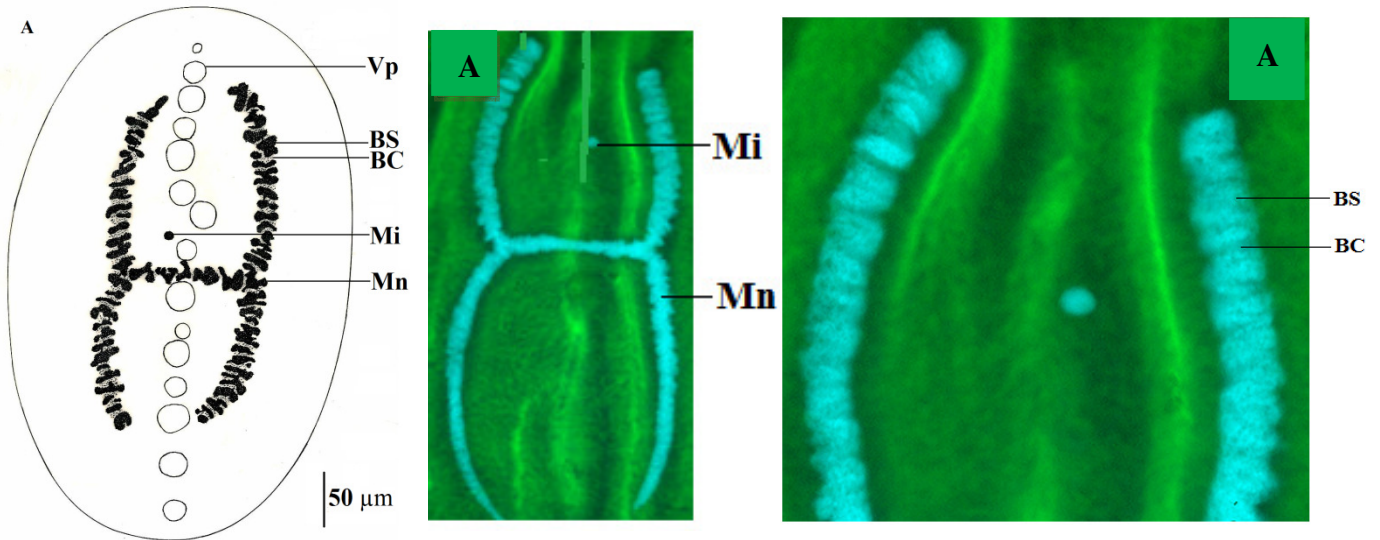
**Figure 35 : Variations morphologiques de l'appareil nucléaire d'*A. mediovacuolata*.**

**A** : macronoyau en H très dentelé, à aspect empilé, et deux micronoyaux ; **B** : macronoyau en H moins dentelé et deux micronoyaux ; **C** : macronoyau en H peu dentelé et d'un micronoyau ; **D** : macronoyau en H non dentelé et un micronoyau ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **Vp** : vacuole pulsatile. Trait d'échelle : 100  $\mu\text{m}$ .

La figure 36 montre les striations du macronoyau dues à l'alternance de bandes. Ces bandes étant facilement reconnaissables par leur épaisseur et leur espacement différent, leur comptage nous a permis de dénombrer une moyenne de 138 bandes.

La longueur de la branche transversale qui relie les branches du macronoyau en H varie d'un type cellulaire à l'autre et suivant que la cellule soit ou non en division, car à cette étape, la chromatine du macronoyau se condense en une masse ovoïde qui s'étire pour se répartir dans les deux cellules filles où il reprend progressivement la forme caractéristique des cellules à l'interphase.

Le micronoyau, unique ou double, arrondi ou ovoïde, se localise sur la partie supérieure de la branche transversale du macronoyau et mesure de 7 à 25  $\mu\text{m}$  de diamètre.



**Figure 36 : Appareil nucléaire d'*A. mediovacolata*.**

**A** : macronoyau en H à aspect empilé ; **B** : macronoyau en H à aspect empilé (coloration au DAPI) (X 1000) ; **C** : une partie du macronoyau en H, après coloration au DAPI (X 1000), montrant les distributions distinctes d'une alternance de bandes sombres et de bandes claires (inter bandes) dans les cellules Gm2 ; **BS** : bande sombre ; **BC** : bande claire ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **Vp** : vacuole pulsatile.

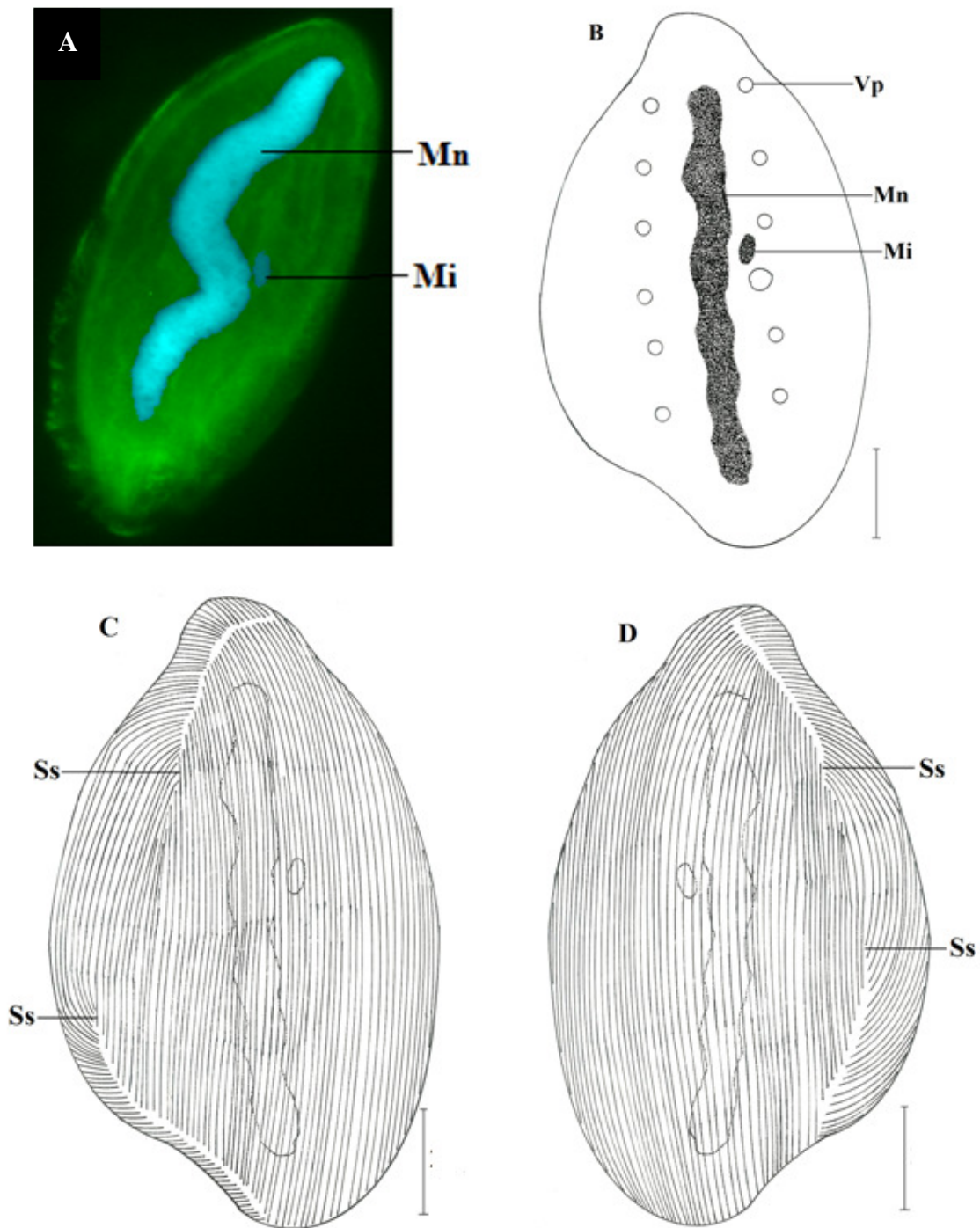
### III.1.1.3.1.2- Genre *Anoplophrya* Stein, 1860

#### *Anoplophrya simplex* n. sp.

Ce Cilié vit dans la portion antérieure des *Alma emini* où il cohabite avec *Almophrya bivacuolata*, *A. mediovacolata* et *A. laterovacolata*. Sa fréquence est de 93 % et son abondance moyenne de 49 Ciliés par ver infesté. La cellule est plus ou moins fusiforme et aplatie dorsoventralement. En dehors des périodes de division, cette cellule mesure 105 à 180 µm de long sur 65 à 125 µm de large. On dénombre entre 6 et 12 vacuoles pulsatiles disposées symétriquement de part et d'autre d'un macronoyau allongé, mesurant 70 à 145 µm de longueur sur 10 à 15 µm de largeur, qui va du pôle antérieur vers le pôle postérieur de la cellule. A ce macronoyau est flanqué un micronoyau lenticulaire de 5 µm de diamètre (Fig. 37 A et 37 B).

La topographie ciliaire est dense. On dénombre en moyenne 160 cinéties disposées de manière homogène sur les deux faces de la cellule (Fig. 37 C et 37 D). Sur la face inférieure, le raccord antérieur des cinéties dorsales et ventrale dessine, à l'apex de la cellule, une ligne de suture bien développée qui se prolonge par un long système sécant. Au pôle postérieur, s'observe une zone de raccord des cinéties très discrète, qui se prolonge par un système sécant. A gauche, la zone de raccord antérieur des cinéties se prolonge sur la face supérieure et se

termine par un système sécant discret. Un long système sécant s'observe postérieurement du côté gauche de la face supérieure de la cellule.



**Figure 37: *Anoplophrya simplex* n. sp.**

**A** : morphologie générale (coloration au DAPI) (X 1000) ; **B** : morphologie générale ; **C** : ciliature de la face supérieure ; **D** : ciliature de la face inférieure ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **Ss** : système sécant ; **VE**: ventouse. Trait d'échelle : 20  $\mu$ m.

### **Affinités taxonomiques**

Le plan d'organisation de la ciliature et l'absence d'une armature squelettique chez ce Cilié restent conformes aux caractères du genre *Anoplophrya* Stein, 1860. Par sa morphologie générale (pôle antérieur et pôle postérieur légèrement pointus), son grand développement de l'appareil vacuolaire disposé en deux rangées longitudinales et la forme de son macronoyau, cette cellule ne ressemble à aucun Cilié connu appartenant au genre *Anoplophrya*. Aussi croyons-nous devoir créer pour elle, une espèce nouvelle dénommée *Anoplophrya simplex* n. sp.

### **Diagnose**

Commensal du tube digestif d'*Alma emini* récoltés à Ebebda; cette cellule est plus ou moins fusiforme et aplatie dorsoventralement ; 105-180  $\mu\text{m}$  X 65-125  $\mu\text{m}$  ; 6-12 vacuoles pulsatiles symétriques ; 150 à 170 cinéties, réparties de manière homogène sur les deux faces du Cilié ; fréquence : 93 % ; abondance moyenne : 49 Ciliés par ver ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda et Nkolbikogo

### **III.1.1.3.2- Famille des Radiophryidae de Puytorac, 1972**

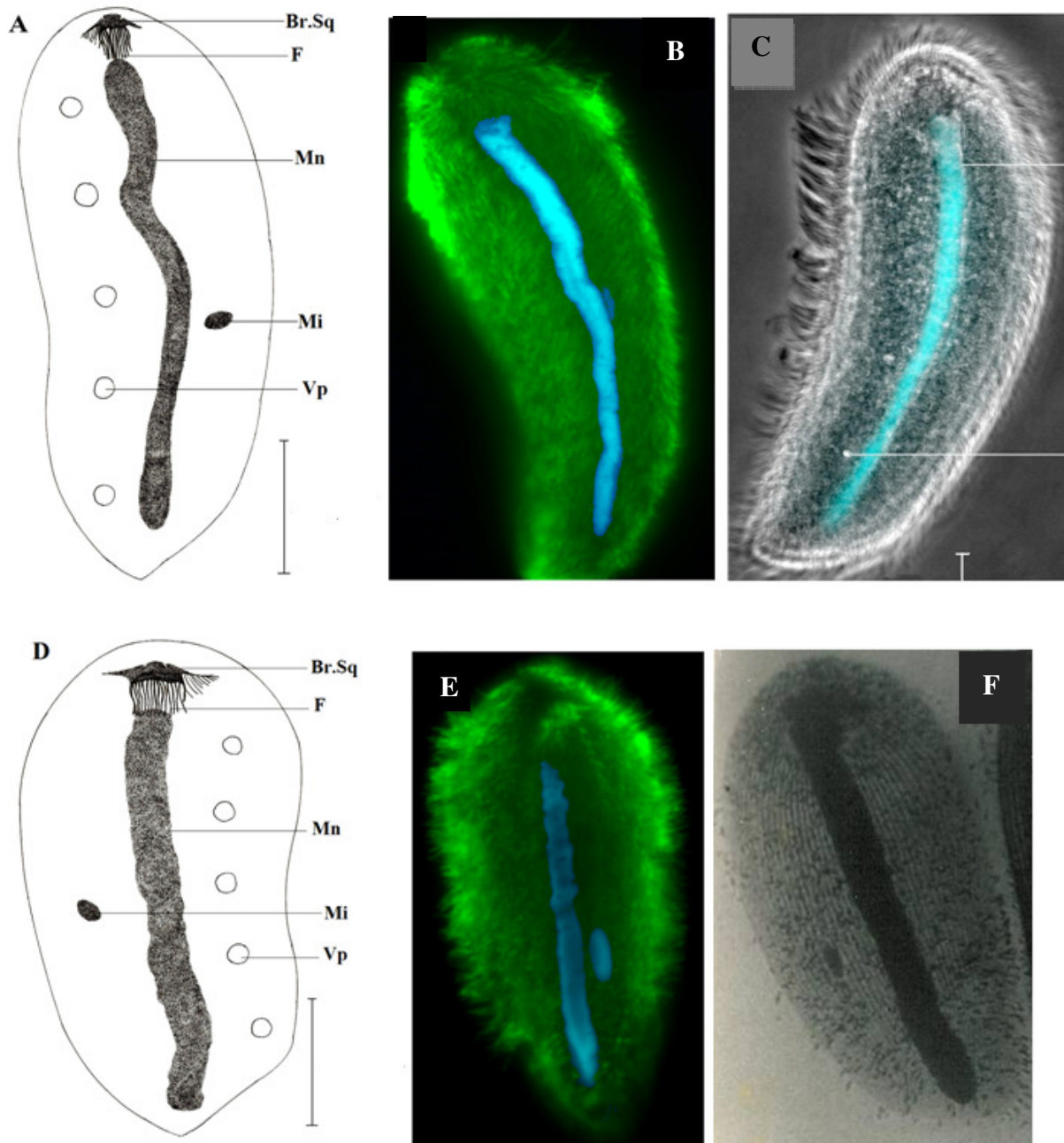
Dans cette famille, nous avons récolté une seule espèce nouvelle appartenant au genre *Hoplitophrya* Stein, 1859.

#### ***Hoplitophrya polymorphus* n. sp.**

Ce Cilié, très abondant dans les régions antérieure et moyenne du tube digestif des *Alma* récoltés à Ebebda et à Nkolbikogo, cohabite avec de nombreuses espèces d'Astomes appartenant aux genres *Almophrya*. De taille variable, cette espèce présente deux formes principales:

- la forme allongée de grande taille (150 à 247  $\mu\text{m}$  de long sur 40 à 87  $\mu\text{m}$  de large) (Fig. 38 A-C) ;
- la forme trapue de taille plus petite (140 à 170  $\mu\text{m}$  de long sur 70 à 98  $\mu\text{m}$  de large) (Fig. 38 D-F).

En général, la cellule est cylindroïde et allongée. Son pôle antérieur est arrondi et, à partir de la région médiane, la cellule s'incurve légèrement vers l'arrière. Le pôle postérieur est étroit.



**Figure 38: *Hoplitophrya polymorphus* n. sp.**

**A** : forme allongée ; **B-C**: forme allongée (coloration au DAPI) (X 1000) ; **D** : forme trapue ; **E** : forme trapue (coloration au DAPI) (X 1000) ; **F** : photographie de la forme trapue (coloration au carbonate d'argent pyridiné) (X 1000) ; **Br.Sq** : branche squelettique ; **F** : fibres squelettiques ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **Vp** : vacuole pulsatile. Trait d'échelle : 20  $\mu\text{m}$ .

Le macronoyau est généralement grêle pour les formes allongées et parfois rubané pour les formes trapues. Il mesure 140  $\mu\text{m}$  de long sur 52  $\mu\text{m}$  de large en moyenne. De section

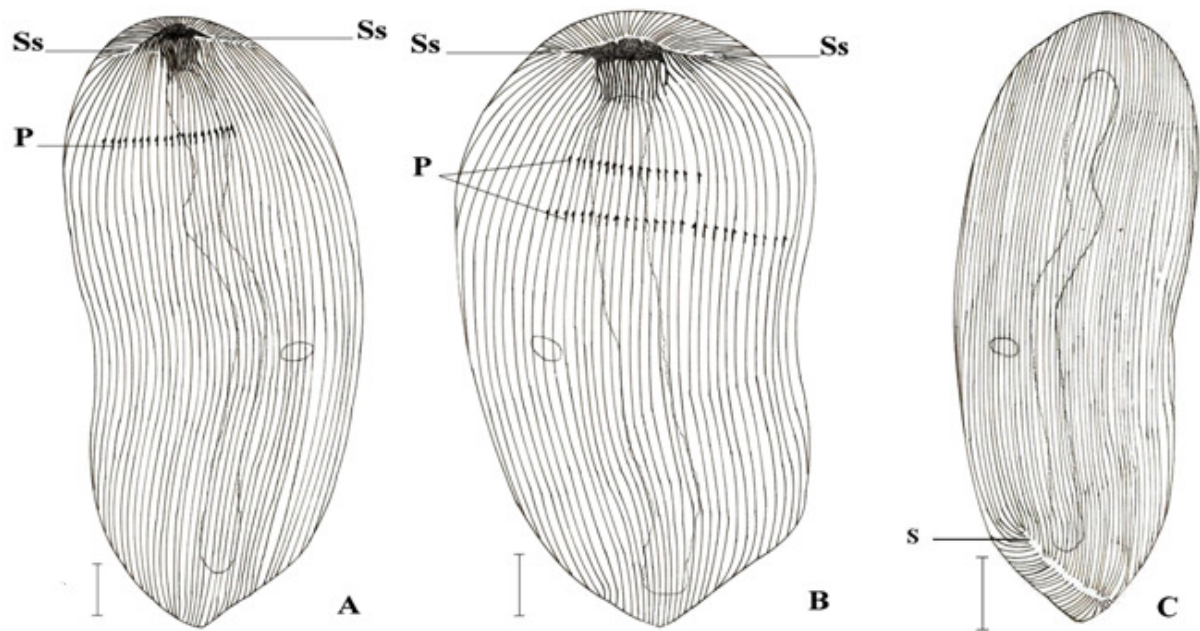
circulaire, il occupe une position axiale et s'étend d'un bout à l'autre de l'infusoire sans toutefois atteindre les extrémités de la cellule. Le macronoyau est flanqué d'une part d'un micronoyau médian, ovoïde ou sphérique, de diamètre moyen 7  $\mu\text{m}$  et d'autre part, d'une rangée longitudinale de 2 à 9 vacuoles pulsatiles.

Le cytosquelette très remarquable, est localisé dans une dépression apicale de la face inférieure (Fig. 38 A et 38 D). Chez les formes allongées, il est fait d'un élément en V dont les branches forment un angle obtus et elles s'élargissent dans le plan transversal par rapport à l'axe de la cellule. Les deux branches de l'élément en V sont inégales, la branche gauche étant plus longue et plus effilée que la branche droite. Ces branches s'unissent en un sommet épaissi portant quelques bourrelets dont le médian est plus saillant. L'ensemble constitue une pièce massive où s'insèrent les extrémités antérieures de 25 fibres squelettiques en moyenne. Cette pièce semble être la jonction de plusieurs éléments dont deux sont insérés dans sa partie ventrale. Ces deux éléments ou spicules s'imbriquent comme s'il y'avait soudure entre elles, l'articulation n'étant pas visible.

Les fibres squelettiques dérivent de l'épaississement des cinéties et sont implantées sur une seule branche. De la branche gauche, partent 6 à 11 fibres fines et courtes. Les autres fibres plus longues, se déforment et s'épaississent sur une partie de leur parcours en arceaux dans la zone médiane ventrale de la pièce. Chez les formes trapues, la structure de la pièce squelettique est comparable à celle de la forme allongée.

La topographie du cinétome est régulière, avec en moyenne, 85 cinéties méridiennes et longitudinales qui recouvrent la face supérieure et la face inférieure de manière homogène (Fig. 39). Sur la face inférieure, 41 cinéties s'échelonnent le long de la cellule et laissent dénudée une aire glabre antérieure qui marque l'emplacement du cytosquelette. Les cinéties des deux faces se raccordent antérieurement selon deux systèmes sécants latéraux. Ces systèmes sécants sont peu marqués chez les formes trapues alors qu'ils sont bien développés chez les formes allongées. Les cinéties qui suivent le trajet des fibres squelettiques ont des plissements denses très caractéristiques formant une à deux séries de stries dans la moitié antérieure et, quelque fois, une série aux deux tiers postérieurs de la cellule (Fig. 39 A et 39 B).





**Figure 39: Cinétome d' *Hoplitophrya polymorphus* n. sp.**

**A** : ciliature de la face inférieure forme allongée ; **B** : ciliature de la face inférieure forme trapue ; **C** : ciliature de la face supérieure forme allongée ; **S** : ligne de suture ; **Ss** : système sécant ; **P** : plissement des cinéties. Trait d'échelle : 20  $\mu$ m.

### Affinités taxonomiques

De par sa morphologie générale, ce cilié est typique de la sous-famille des Hoplitophryinae Cépède, 1910. De plus, les caractères de son cytosquelette à savoir, la présence de branches et des fibres squelettiques qui s'implantent sur une seule branche le rattachent au genre *Hoplitophrya* Stein, 1859. Le Cilié décrit semble proche d' *H. libyodrili* de Puytorac, 1969a. Cependant, elle en diffère par la position des nodosités sur les branches et la disposition des fibres. De plus, la constitution de son cytosquelette faite de plusieurs éléments et la présence des systèmes sécants latéraux sur la face inférieure en fait la distinction nette. Ces différences ont conduit à créer une espèce nouvelle à laquelle le nom *Hoplitophrya polymorphus* n. sp. a été attribué. Ce nom fait référence à la diversité de formes observé au sein de sa population.

### Diagnose

Commensal du tube digestif des *Alma* récoltés à Ebebda et à Nkolbikogo ; cellule cylindroïde et allongée avec le pôle antérieur arrondi et un pôle postérieur effilé ; 140-247  $\mu$ m X 40-98  $\mu$ m ; une rangée longitudinale de 2 à 9 vacuoles pulsatiles ; 80 à 84 cinéties, réparties

de manière homogène sur les deux faces du cilié ; présence d'un cytosquelette en V portant 6 à 11 fibres ; fréquence : 95 % ; abondance moyenne : 29 Ciliés par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda et Nkolbikogo

### **III.1.1.3.3-Famille des Contophryidae de Puytorac, 1972**

Dans cette famille, nous avons trouvé deux espèces nouvelles appartenant au genre *Dicontophrya* de Puytorac & Dragesco, 1969.

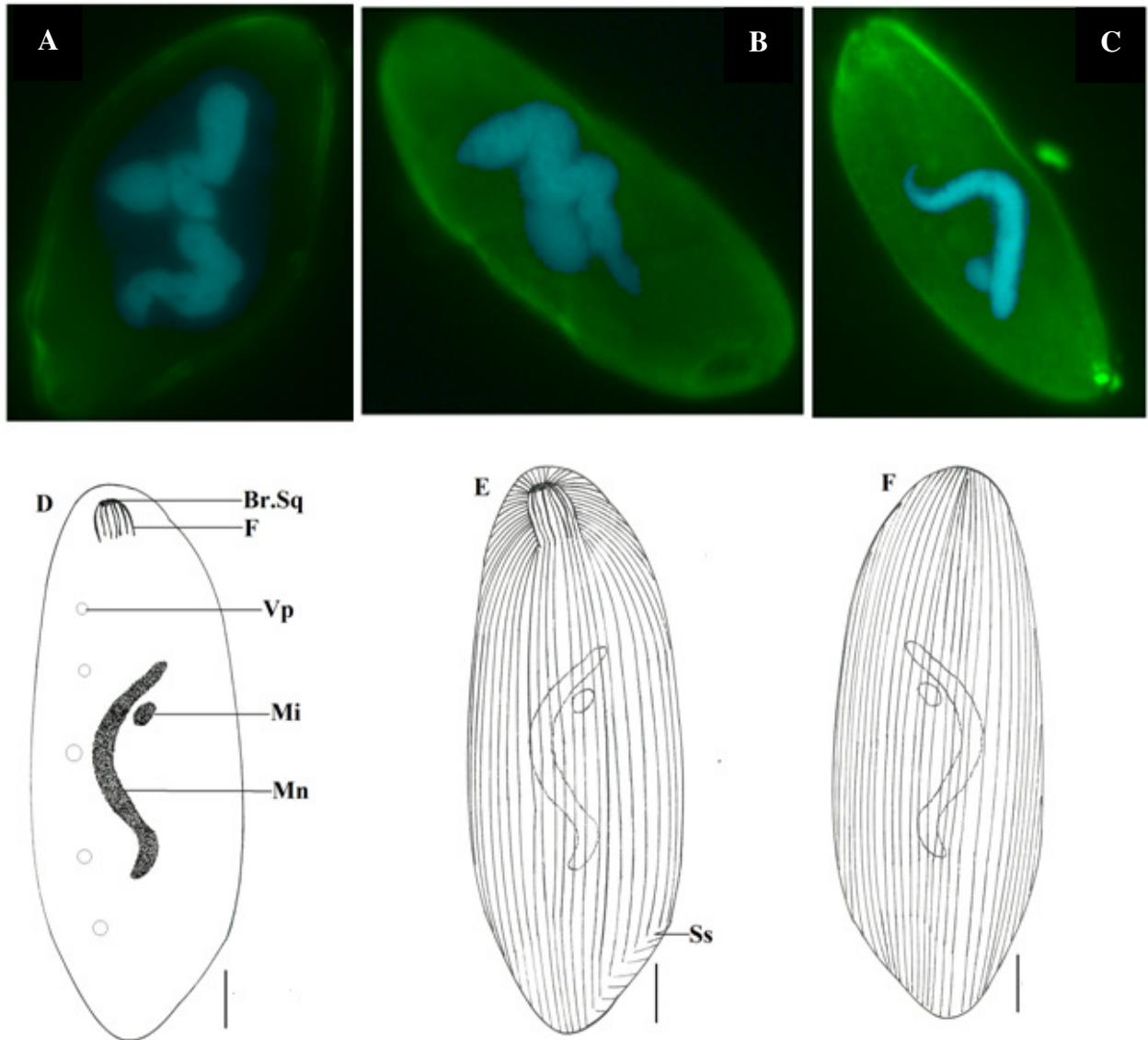
#### **III.1.1.3.3.1- *Dicontophrya minus* n. sp.**

Ce Cilié a été retrouvé dans l'intestin moyen de *Alma emini* et *A. nilotica* récoltés à Ebebda et à Nkolbikogo. On dénombre en moyenne 52 de ce Cilié par ver infesté et environ 72 % des *Alma* récolté hébergent cette espèce. Le corps est ovale, arrondi aux pôles et portant antérieurement une dépression occupée par un cytosquelette. La cellule mesure 90 à 120 µm de long sur 35 à 55 µm de large.

Le macronoyau de forme variable, est quelquefois rubané et fragmenté. Avant la division, il se condense en masse ovoïde. Après la division, il reprend progressivement la forme en S et irrégulière. Le micronoyau sphérique, mesure entre 4 et 9 µm de diamètre. Une rangée longitudinale de 2 à 5 vacuoles contractiles borde le macronoyau (Fig. 40 A-D).

La ciliature somatique est formée d'une soixantaine de cinéties méridiennes recouvrant l'ensemble du corps, à l'exception d'une aire antérieure glabre correspondant à l'emplacement de l'appareil d'accrochage du Cilié (Fig. 40 E et 40 F). L'ensemble des stries ciliaires partent des bords de la zone de jonction des faces dorsale et ventrale. Ces stries vont jusqu'à l'extrémité postérieure, où elles s'affrontent suivant une zone de raccord, se prolongeant latéralement en deux systèmes sécants.

L'appareil squelettique est logé dans une dépression antérieure de la cellule et formé par une pièce en V très modifiée. Deux crochets axiaux s'articulent sur cette pièce. Ce dispositif cumulerait ainsi les fonctions de soutien et de fixation du Cilié. Sur cet appareil de fixation, viennent de l'extrémité antérieure, 4 à 7 fibres squelettiques disposées sur la face inférieure de la cellule.



**Figure 40 : *Dicontophrya minus* n. sp.**

**A-C** : morphologie générale (coloration au DAPI) (X 1000) ; **D** : morphologie générale ; **E** : ciliature de la face supérieure ; **E** : ciliature de la face inférieure ; **Br.Sq** : branche squelettique ; **F** : fibres squelettiques ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **Ss** : système sécant ; **VE** : ventouse ; **Vp** : vacuole pulsatile. Trait d'échelle : 40  $\mu$ m.

### Affinités taxonomiques

Par sa morphologie générale et l'architecture de son appareil squelettique, ce Cilié rappelle *Dicontophrya grassei* de Puytorac & Dragesco, 1969. Elle s'en distingue cependant par sa topographie ciliaire marquée par l'absence d'affrontement antérieur et sagittale des cinéties de la face inférieure et par son appareil nucléaire polymorphe. La couverture ciliaire du pôle antérieur, laissant dénudée une aire glabre sans formation de système sécant semble être

un caractère spécifique à cette espèce. Nous pensons qu'il s'agit d'une espèce nouvelle que nous dénommons *Dicontophrya minus* n. sp., du fait de sa petite taille.

### **Diagnose**

Commensal du tube digestif des *Alma* récoltés à Ebebda et à Nkolbikogo ; cellule ovale, légèrement arrondie aux pôles ; 90-120  $\mu\text{m}$  X 35-55  $\mu\text{m}$  ; une rangée longitudinale de 2 à 5 vacuoles pulsatiles ; 58 à 63 cinéties, réparties de manière homogène sur les deux faces du cilié ; présence d'un cytosquelette en V aplati, portant 4 à 7 fibres ; fréquence : 72 % ; abondance moyenne : 52 Ciliés par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda et Nkolbikogo.

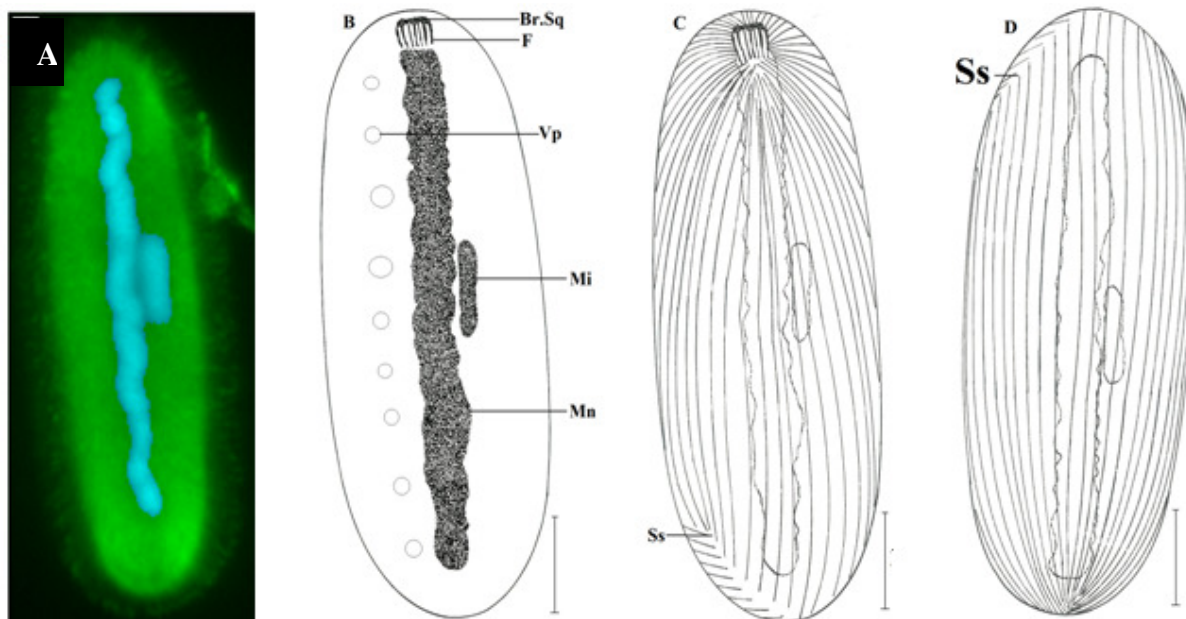
#### **III.1.1.3.3.2- *Dicontophrya elongata* n. sp.**

Ce Cilié cohabite dans les portions antérieure et moyenne de l'intestin des *Alma emini* récoltés à Ebebda avec les Ciliés du genre *Almophrya* et *Coelophryade* Puytorac & Dragesco, 1969. On dénombre en moyenne 50 cellules de *D. elongata* par ver infesté et 87 % des vers récoltés abritent ce Cilié.

La cellule est filiforme, cylindroïde et allongée (Fig. 41 A et 41 B). Elle mesure en moyenne 210  $\mu\text{m}$  de long sur 30  $\mu\text{m}$  de large. Le macronoyau axial, très effilé mesure en moyenne 170  $\mu\text{m}$  de long contre 4  $\mu\text{m}$  de large. Il est postérieurement flanqué d'un micronoyau lenticulaire de diamètre 3  $\mu\text{m}$  et aux extrémités arrondies. Une rangée longitudinale de 8 à 12 vacuoles contractiles borde le macronoyau.

L'appareil ciliaire est constitué de 42 à 56 cinéties méridiennes et longitudinales, régulièrement espacées et recouvrant presque uniformément toute la cellule. Sur la face inférieure, les cinéties laissent glabre une aire antérieure grossièrement circulaire, occupée par le cytosquelette.

L'architecture de l'armature squelettique est bâtie sur le même plan d'organisation que celui de l'espèce précédente : un élément en V profondément modifié sur lequel s'articulent axialement deux crochets et portant du côté de la face inférieure, en moyenne six fibres squelettiques



**Figure 41 : *Dicontophrya elongata* n. sp.**

**A** : morphologie générale (coloration au DAPI) (X1000) ; **B** : morphologie générale ; **C** : ciliature de la face supérieure ; **D** : ciliature de la face inférieure ; **Br.Sq** : branche squelettique ; **F** : fibres squelettiques ; **Mi** : micronoyau ; **Mn** : macronoyau ; **Ss** : système sécant ; **VE** : ventouse ; **Vp** : Vacuole pulsatile. Trait d'échelle : 20  $\mu$ m.

### Affinités taxonomiques

La topographie ciliaire et l'architecture du cytosquelette de cet infusoire rappellent celle de *Dicontophrya minus* n. sp. Les différences essentielles concernent la morphologie générale, très allongée et le macronoyau filiforme. Ces différences ont une valeur spécifique et nous dénommons la cellule *Dicontophrya elongata* n. sp., du fait de sa forme allongée.

### Diagnose

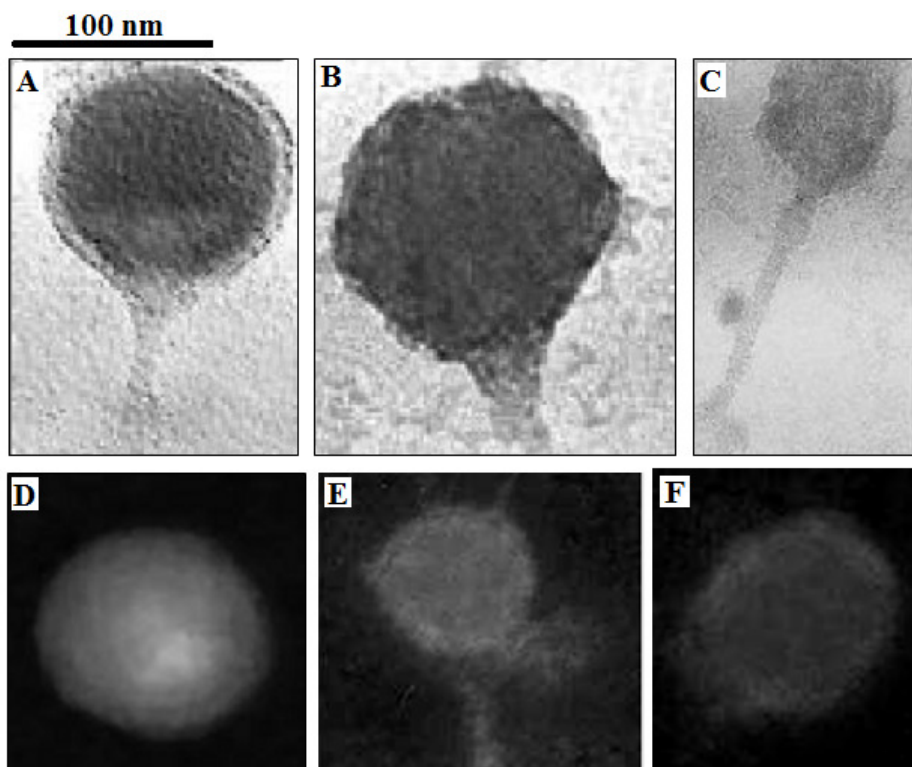
Commensal du tube digestif de *Alma emini* récoltés à Ebebda ; cellule ovale, légèrement arrondie aux pôles ; 220-125  $\mu$ m X 28-33  $\mu$ m ; une rangée longitudinale de 8 à 12 vacuoles pulsatiles ; 42 à 56 cinéties, réparties uniformément sur les deux faces du Cilié ; présence d'un cytosquelette en V modifié, portant 7 à 9 fibres ; fréquence : 87 % ; abondance moyenne : 50 Ciliés par ver infesté ; localité de récolte de l'hôte : Ebebda et Nkolbikogo.

### III.1.2- Variation d'abondance de virus et de bactéries le long du tube digestif des oligochètes

L'observation du broyat du ver de terre en microscopie électronique à transmission (MET) a permis de mettre en évidence, des particules à allure phagique morphologiquement variées (Fig. 42). Comme tous les virus, les phages sont classés en fonction de la nature de leur

acide nucléique et leur structure (présence ou absence d'une enveloppe). Les phages sont répartis dans plusieurs familles, ceux classés dans l'ordre des Caudovirales sont cependant les plus nombreux (plus de 90 % des bactériophages connus) et ils présentent une symétrie originale qualifiée de binaire. Les virions sont constitués d'une tête à symétrie cubique renfermant l'ADN et d'une queue asymétrique. Les photographies de la figure 42 nous permettent donc de classer les virus du tractus digestif de *A. emini* dans trois familles :

- les Cystoviridae (Fig. 42 A et 42 D), caractérisées par une tête circulaire et une queue effilée, très courte (environ 15 nm) ;
- les Podoviridae (Fig. 42 B et 42 E), caractérisées par une tête plus ou moins circulaire et une queue courte (environ 20 nm) et non contractile. On peut classer dans cette famille des bactériophages T<sub>7</sub> et P<sub>22</sub> ;
- les Myoviridae (Fig. 42 C et 42 F), caractérisées par une tête polyédrique et une queue très longue (environ 100 nm). Les particules virales appartenant à cette famille possèdent une gaine contractile entourant le cylindre central de la queue, ce qui leur permet d'injecter leur ADN dans la cellule bactérienne. Certains de ces virus sont très bien connus, c'est le cas des phages T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>6</sub> et  $\mu$ .

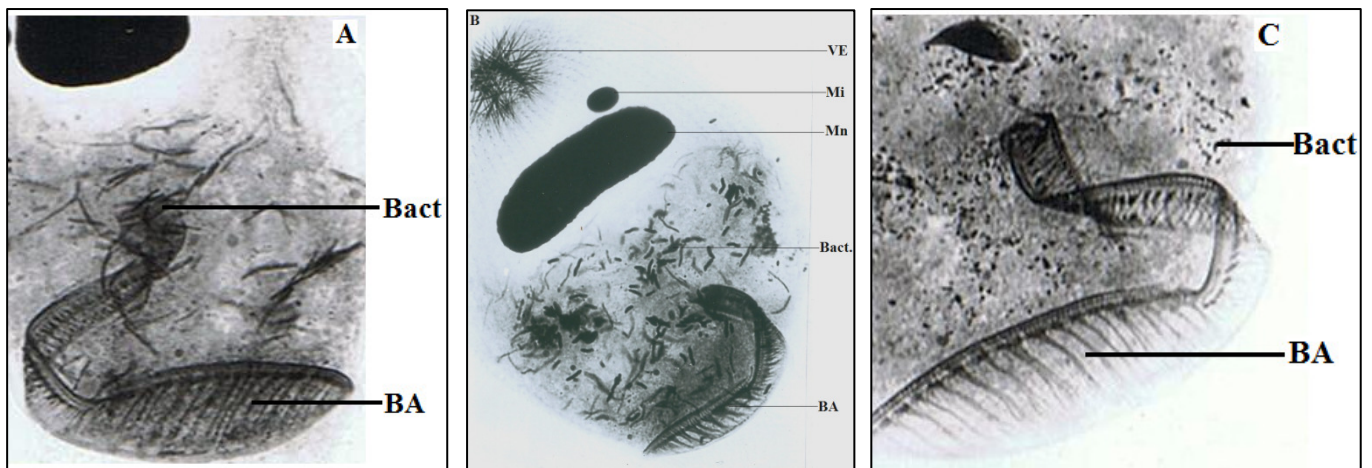


**Figure 42: Photographies des particules virales après observation en microscopie électronique à transmission (MET).**

**A et D : Cystoviridae ; B et E : Podoviridae ; C et F : Myoviridae.**

L'imprégnation des Ciliés Hysterocinetidés, au carbonate d'argent ammoniacal met en évidence, dans leur cytoplasme, des bactéries endozoïques non envacuolées, présentant une grande diversité de formes. La plupart de ces bactéries sont:

- soit en forme de bâtonnets, appelés bacilles (Fig. 43 A) ;
- soit en forme de bâtonnets légèrement incurvées, appelés vibrions (Fig. 43 B) ;
- soit sphériques, appelées coques (Fig. 43 C).

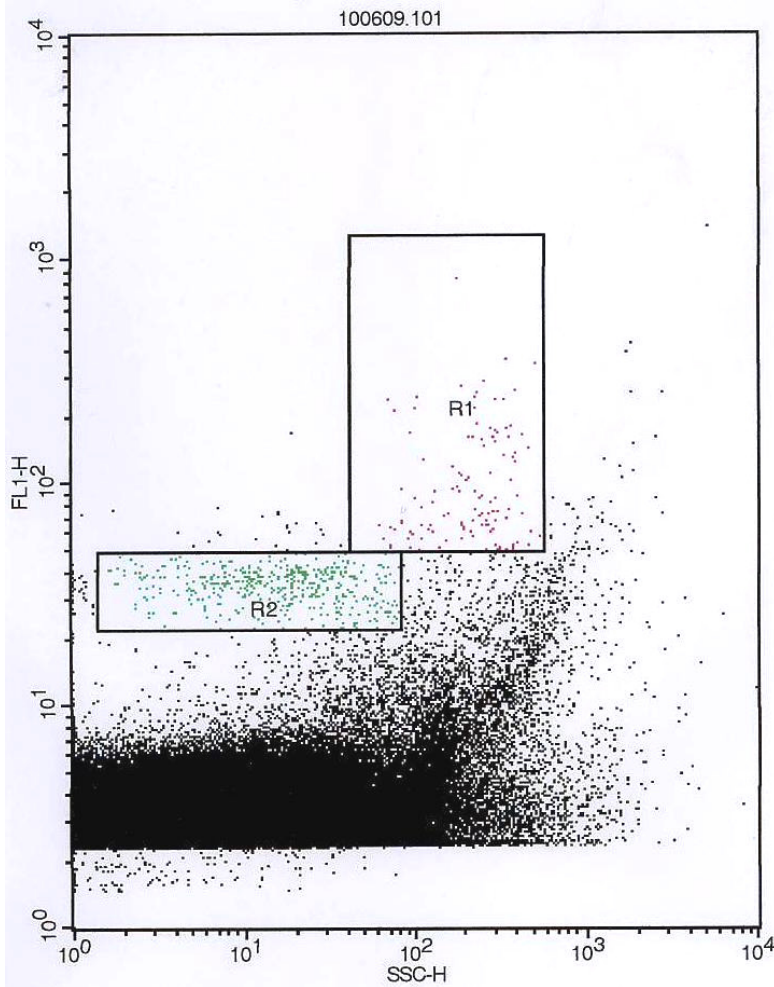


**Figure 43: Photographies des Ciliés (coloration au carbonate d'argent ammoniacal pyridinée) mettant en évidence les bactéries non envacuolées dans leur cytoplasme (X 1000).**

**A** : *Ptychostomoïdes gigas* renfermant des bâtonnets ; **B** : *Ptychostomum bacteriophilus* renfermant des vibrions ; **C** : *Ptychostomum prolixus* renfermant des coques ; **BA** : appareil buccal ; **Bact** : bactéries.

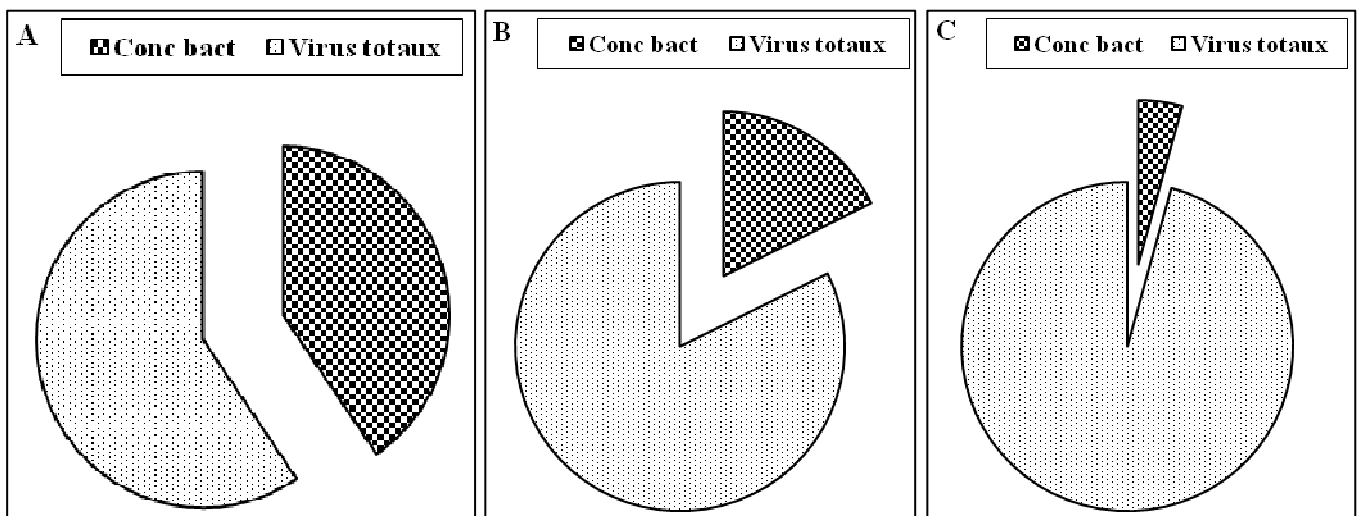
Nous constatons que la grande concentration de ces bactéries se fait au pôle postérieur des Ciliés, à proximité de l'appareil buccal.

Sur le plan quantitatif, le traitement de l'ensemble du contenu digestif de *A. emini* dans un cytomètre a permis de mettre en évidence, dans un cytogramme, deux fenêtres : R1 et R2 dans lesquelles on peut estimer respectivement environ 121 bactéries et 446 particules virales. Le ratio virus/bactérie (VBR) est environ 3,69 (Fig. 44).



**Figure 44: Nombre d'évènements fluorescents (FL1-H) en fonction de la structure (SSC-H).  
R1 : bactéries ; R2 : virus.**

Lorsque le tube digestif du ver a été subdivisé en trois portions égales (antérieure, moyenne et postérieure), et que le broyat de chaque portion a subi un passage dans le cytomètre, on a observé que contrairement aux bactéries, la concentration virale augmente considérablement de l'intestin antérieur vers l'intestin postérieur (Fig. 45).



**Figure 45: Abondance de virus et de bactéries le long du tube digestif de *A. emini*.**

A : intestin antérieur ; B : intestin moyen ; C : intestin postérieur.



Dans l'intestin antérieur, on a dénombré environ 81 cellules bactériennes contre 119 particules virales avec un VBR = 1,47. Dans la portion moyenne de l'intestin, le VBR = 4,66. En effet, dans cette partie du tube digestif du ver, on a dénombré 32 bactéries et 149 particules virales. Dans l'intestin postérieur enfin, la concentration bactérienne devient très faible contrairement à celle des virus et le VBR, très élevé est égal à 22,25.

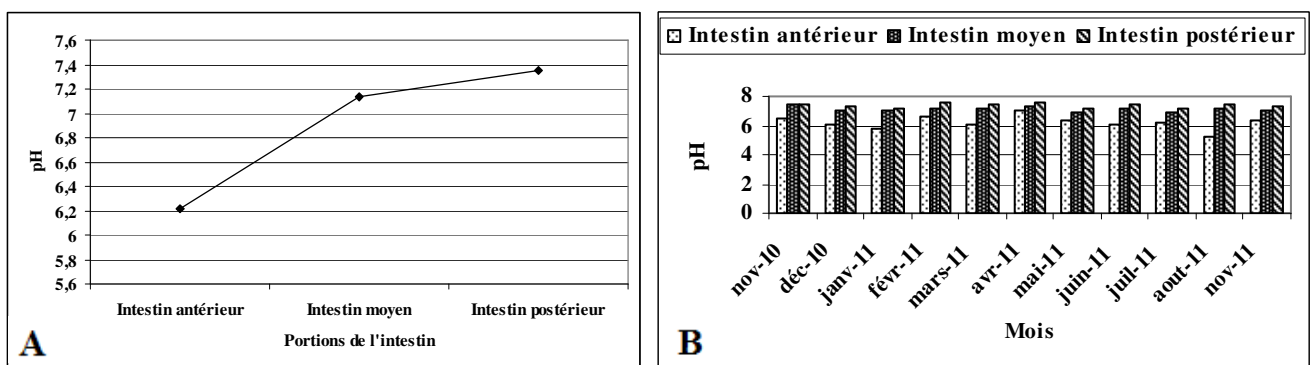
### III.1.3- Physico-chimie et mésofaune ciliée du tractus digestif de *Alma emini*

#### III.1.3.1- Variables physico-chimiques

Après aspiration du liquide intestinal dans les différentes portions du tube digestif de *A. emini*, huit paramètres ont été dosés : le potentiel d'hydrogène ; la conductivité électrique ; la teneur en eau du contenu digestif ; la teneur en substances dissoutes ; les ions nitrates ; nitrites ; ammoniums et orthophosphates. Pour chaque paramètre, 33 valeurs ont été obtenues de novembre 2010 à novembre 2011.

##### III.1.3.1.1- Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH annuel le long du tube digestif de *A. emini* est en moyenne de  $6,22 \pm 0,43$  dans la portion antérieure ;  $7,13 \pm 0,17$  dans la portion moyenne et  $7,35 \pm 0,16$  dans l'intestin postérieure (Fig. 46 A). Ainsi le pH, acide dans l'intestin antérieur devient alcalin dans les portions moyenne et postérieure.



**Figure 46: pH le long du tube digestif de *Alma emini*.**

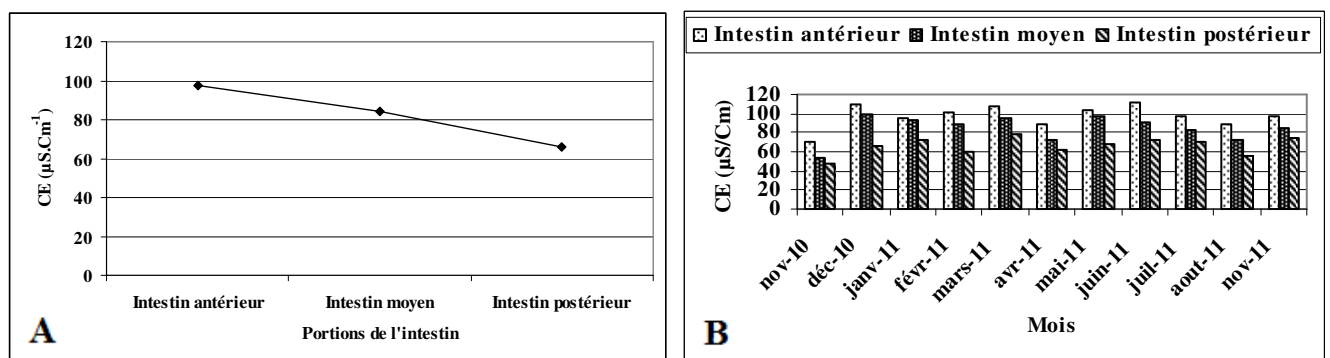
**A** : variations moyennes annuelles ; **B** : variations mensuelles.

La différence entre les valeurs du pH est significative entre les différentes portions du tube digestif des vers de terre ( $P = 0,010$ ), notamment entre les portions antérieure et moyenne ( $P = 0,033$ ) antérieure et postérieure ( $P = 0,037$ ), moyenne et postérieure ( $P = 0,030$ ). Les valeurs mensuelles dans la portion antérieure ont toujours été acide hormis le mois d'avril où elles ont été alcalines dans les trois portions du tube digestif (7,02 ; 7,32 ; 7,54 respectivement

dans les portions antérieure, moyenne et postérieure). Néanmoins, dans l'ensemble, les valeurs du pH ont toujours évolué de manière croissante de l'intestin antérieur vers l'intestin postérieur (Fig. 46 B). Dans les trois portions, ces valeurs extrêmes sont 5,29 et 7,61. Le pH moyen et global des trois portions du tube digestif de *A. emini* est voisin de la neutralité (6,90). Il est fort probable que la courbe du pH obtenue chez *A. emini* soit presque analogue à d'autres espèces d'oligochètes. On peut noter aussi que les variations temporelles semblent avoir peu ou pas d'influence sur les valeurs du pH dans les différentes fractions du tube digestif.

### III.1.3.1.2- Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique donne une bonne indication sur le degré de minéralisation et d'ionisation du liquide intestinal. Les valeurs moyennes annuelles sont de  $97,51 \pm 11,18 \mu\text{S/cm}$  ;  $84,56 \pm 12,94 \mu\text{S/cm}$  et  $66,22 \pm 8,60 \mu\text{S/cm}$  respectivement dans les portions antérieure, moyenne et postérieure du tube digestif du ver. Nous notons donc que la concentration ionique maximale est obtenue dans la partie antérieure ; alors que la concentration minimale est obtenue dans l'intestin postérieur (Fig. 47 A).



**Figure 47: Conductivité électrique le long du tube digestif de *Alma emini*.**

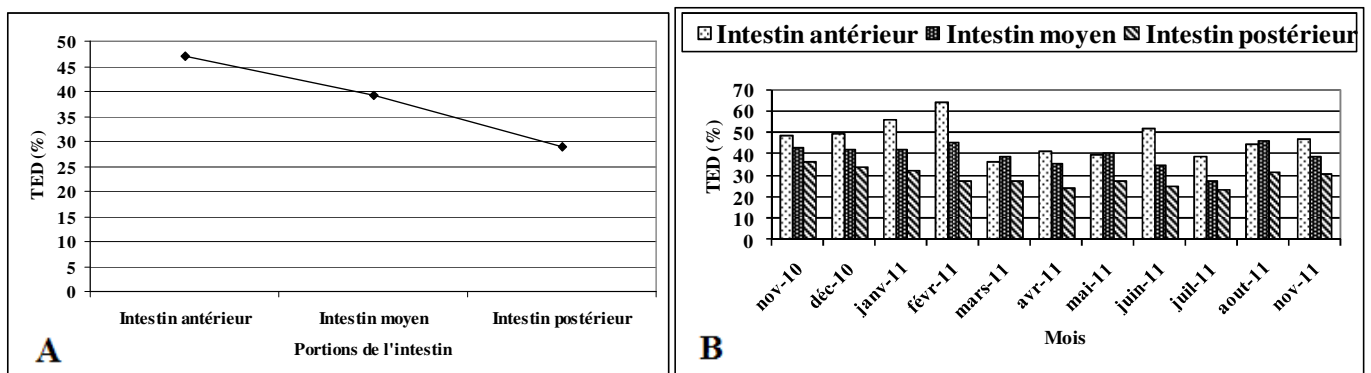
**A** : variations moyennes annuelles ; **B** : variations mensuelles.

Les valeurs de la conductivité électrique décroissent toujours de l'intestin antérieur vers l'intestin postérieur. Le liquide intestinal antérieur de *A. emini* serait plus riche en ions et sels minéraux que celui de l'intestin moyen et de l'intestin postérieur. Les faibles valeurs ont été enregistrées en novembre 2010 où la moyenne dans les trois portions du tractus digestif est de  $57,50 \mu\text{S/cm}$ , alors que les fortes concentrations ont été observées en mars 2011 avec une moyenne de  $93,90 \mu\text{S/cm}$ . Les valeurs moyennes de la conductivité électrique des trois portions enregistrées au cours des mois de décembre 2010 et de juin 2011 ont été presque identiques, respectivement  $91,43 \mu\text{S/cm}$  et  $91,49 \mu\text{S/cm}$  (Fig. 47 B). Les variations des valeurs de la conductivité électrique sont significatives entre les différentes portions du tube digestif des vers

de terre ( $P = 0,047$ ), notamment entre les portions antérieure et moyenne ( $P = 0,024$ ) antérieure et postérieure ( $P = 0,020$ ), moyenne et postérieure ( $P = 0,019$ ).

### III.1.3.1.3- Teneur en eau du contenu digestif (TED)

Le contenu digestif de la portion antérieure est plus fluide. Sa teneur en eau varie de 36,24 à 63,88 % avec une moyenne de  $46,94 \pm 7,77$  %. Dans l'intestin moyen, moins fluide que le précédent, ce paramètre varie entre 27,33 et 45,70 % avec une moyenne de  $39,27 \pm 5,05$  %. Enfin, dans l'intestin postérieur moins fluide que les deux précédentes portions, la teneur moyenne en eau est de  $28,84 \pm 3,97$  %. Il y a donc diminution progressive de la teneur en eau depuis la partie antérieure jusqu'à l'extrémité postérieure du tube digestif (Fig. 48 A). Les fluctuations de la teneur en eau du contenu digestif des *Alma emini* sont significatives entre les portions antérieure et moyenne ( $P = 0,021$ ), antérieure et postérieure ( $P = 0,032$ ) et moyenne et postérieure ( $P = 0,021$ ).



**Figure 48: Teneur globale en eau le long du tube digestif de *Alma emini*.**

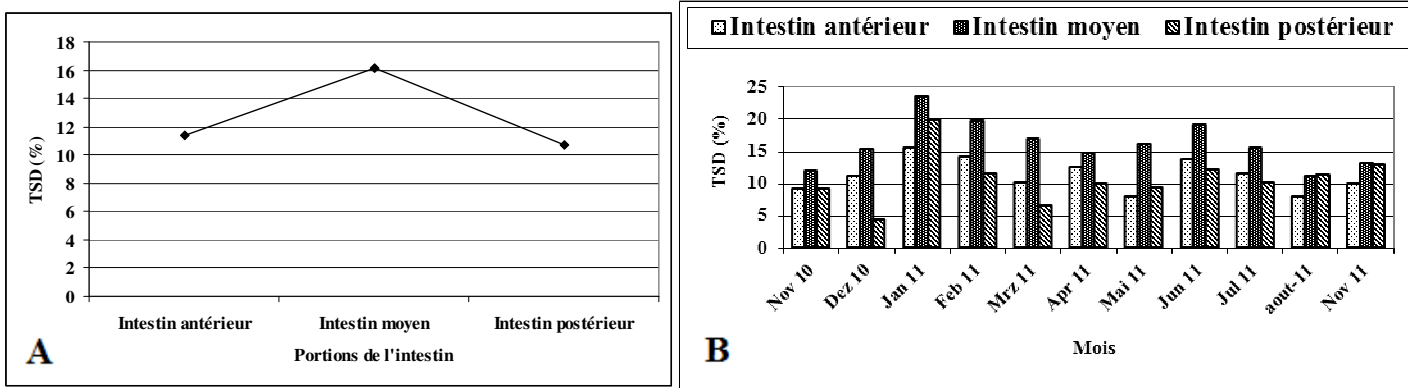
**A** : variations moyennes annuelles ; **B** : variations mensuelles.

Dans les trois portions de l'intestin, les valeurs minimales ont été enregistrées au mois de juillet 2011, respectivement 38,98 % dans l'intestin antérieur ; 27,33 % dans l'intestin moyen et 23,36 % dans l'intestin postérieur. Les valeurs maximales ont été obtenues en février 2011, exception faite dans l'intestin postérieur où cette valeur maximale a été enregistrée en novembre 2010 (36,21 %).

On remarque que la teneur globale moyenne en eau du contenu digestif des vers de terre prélevés en juillet est plus basse (29,89 %) que celle des vers prélevés en février (45,39 %). Nous comprenons donc que la teneur en eau du contenu digestif des vers de terre varierait suivant les périodes ou les saisons de l'année (Fig. 48 B). D'après les valeurs enregistrées pour les trois fractions, le pourcentage d'eau moyen annuel du contenu digestif est de 38,35 %.

### III.1.3.1.4- Teneurs globales en substances dissoutes (TSD)

Les teneurs globales en substances dissoutes du liquide digestif donnent une idée de la quantité de tous les éléments contenus dans ce liquide. Elles englobent à la fois sels et matières organiques dissoutes. Les valeurs moyennes varient de  $11,38 \pm 2,41 \%$  dans l'intestin antérieur ;  $16,20 \pm 3,46 \%$  dans l'intestin moyen et  $10,75 \pm 3,76 \%$  dans l'intestin postérieur. Ces valeurs montrent des différences significatives entre les trois parties du tube digestif ( $P = 0,022$ ), notamment entre l'intestin antérieur et moyen ( $P = 0,027$ ) antérieur et postérieur ( $P = 0,035$ ), moyen et postérieur ( $P = 0,031$ ). Le pic de matière dissoute du liquide intestinal est donc observé dans l'intestin moyen (Fig. 49 A).



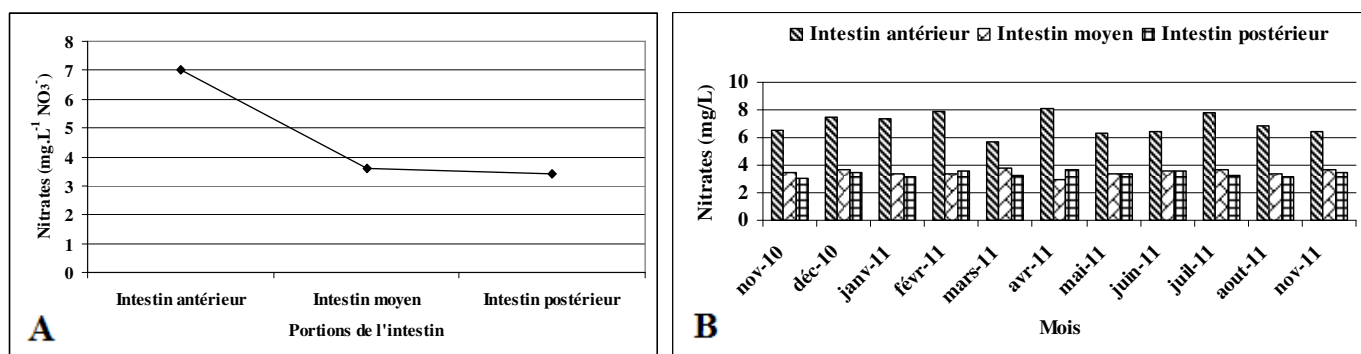
**Figure 49: Teneur en substances dissoutes le long du tube digestif de *Alma emini*.**

**A** : variations moyennes annuelles ; **B** : variations mensuelles.

Les concentrations moyennes maximales de la teneur en substances dissoutes de l'ensemble des trois portions du tube digestif ont été obtenues en janvier et février 2011, respectivement 19,75% et 15,24%. Par contre, les concentrations minimales (proches de 10%) ont été enregistrées au cours des mois de novembre, décembre 2010 et août 2011 (Fig. 49 B). Comme bien d'autres paramètres, la teneur en substances dissoutes du liquide intestinal des vers de terre varierait en fonction des périodes de l'année.

### III.1.3.1.5- Nitrates (NO<sub>3</sub>)

Les concentrations moyennes en ions nitrates sont de  $7,00 \pm 0,77 \text{ mg.L}^{-1}$  dans la portion antérieure ;  $3,60 \pm 0,23 \text{ mg.L}^{-1}$  dans la portion moyenne et  $3,40 \pm 0,19 \text{ mg.L}^{-1}$  dans l'intestin postérieur. On note donc une diminution graduelle de la teneur de cet ion dans le tractus digestif de l'oligochète (Fig. 50 A). La chute de la concentration en nitrates est brusque de la portion antérieure à la portion moyenne, mais de la fraction moyenne à la fraction postérieure cette valeur varie très peu.



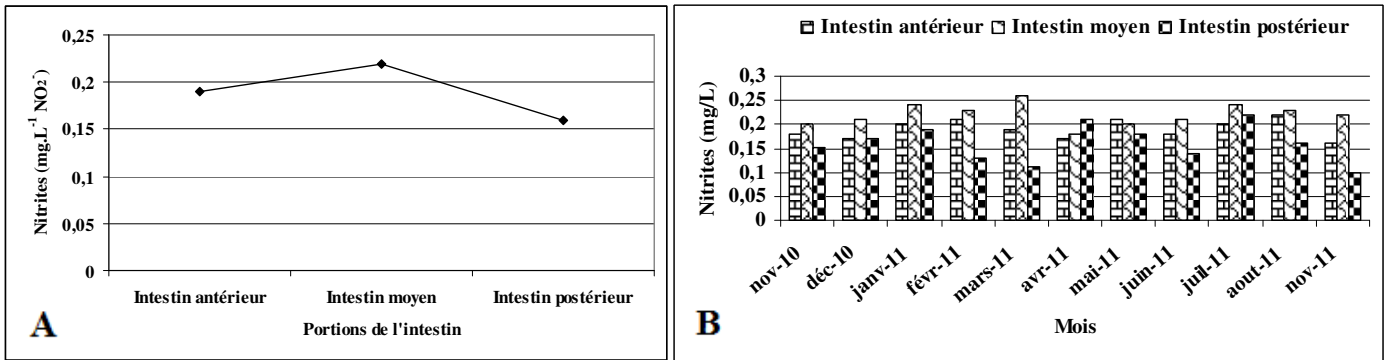
**Figure 50: Concentrations en ions nitrates le long du tube digestif de *Alma emini*.**

**A** : variations moyennes annuelles ; **B** : variations mensuelles.

L'évolution des teneurs en nitrates montre une différence significative entre les portions antérieure et moyenne ( $P = 0,013$ ), antérieure et moyenne ( $P = 0,023$ ), moyenne et postérieure ( $P = 0,019$ ). Les fortes concentrations en nitrates ont été toujours enregistrées dans l'intestin antérieur (Fig. 50 B). En mai 2011, les concentrations en nitrates de l'intestin antérieur ont atteint pratiquement le double des valeurs enregistrées dans les portions moyenne et postérieure. Les valeurs suivantes  $7,9 \text{ mg.L}^{-1}$  ;  $3,4 \text{ mg.L}^{-1}$  ;  $3,6 \text{ mg.L}^{-1}$  ont été enregistrées, respectivement dans les fractions antérieure, moyenne et postérieure du tractus digestif des vers. Au cours de ce même mois et contrairement aux autres, la concentration en nitrate a été plus forte dans l'intestin postérieur que l'intestin moyen. La concentration moyenne globale en nitrate de l'ensemble du tube digestif de *A. emini* est de  $4,67 \text{ mg.L}^{-1}$ . La plus faible valeur moyenne ( $4,27 \text{ mg.L}^{-1}$ ) a été enregistrée au mois de juin 2011, tandis que la plus forte moyenne a été obtenue au mois de mai 2011 avec une valeur de  $4,97 \text{ mg.L}^{-1}$ .

### III.1.3.1.6- Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Les concentrations en ions nitrites sont très faibles par rapport aux autres ions dosés. Elles varient très peu, entre  $0,15 \text{ mg.L}^{-1}$  et  $0,25 \text{ mg.L}^{-1}$  en moyenne. Les concentrations moyennes annuelles sont de  $0,19 \pm 0,01 \text{ mg.L}^{-1}$  dans l'intestin antérieur ;  $0,22 \pm 0,02 \text{ mg.L}^{-1}$  dans l'intestin moyen et  $0,16 \pm 0,01 \text{ mg.L}^{-1}$  dans la portion postérieure de l'intestin (Fig. 51 A). Comme les ions orthophosphates, la concentration maximale des nitrites est obtenue dans la section moyenne de l'intestin des vers. En effet, la concentration totale moyenne des trois fractions du tube digestif en ions nitrates est de  $0,19 \pm 0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ . Il est néanmoins intéressant de constater, que d'un bout à l'autre du tube digestif, les concentrations en ions nitrites varient très peu, contrairement à d'autres paramètres mesurés. Ces fluctuations légères des valeurs n'indiquent aucune différence significative entre les différentes portions ( $P = 0,071$ ).



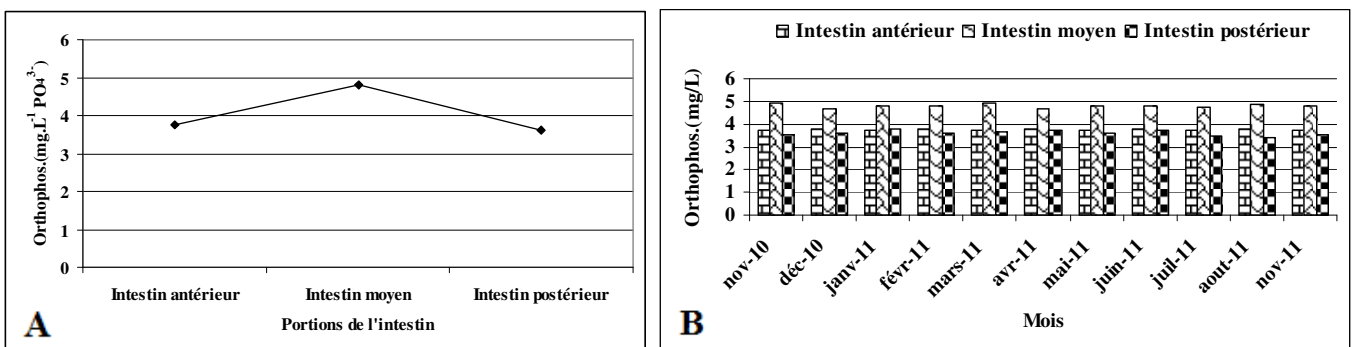
**Figure 51: Concentrations en ions nitrites le long du tube digestif de *Alma emini*.**

**A** : variations moyennes annuelles ; **B** : variations mensuelles.

Dans l'intestin antérieur, comme dans les deux autres sections du tube digestif, les concentrations en ions nitrites varient entre 0,17 mg.L<sup>-1</sup> et 0,21 mg.L<sup>-1</sup> (Fig. 51 B). Dans la section moyenne, la variation est plus marquée car elle évolue de 0,20 mg.L<sup>-1</sup> en février à 0,26 mg.L<sup>-1</sup> en juin. Dans la portion postérieure enfin, la concentration maximale a été enregistrée en avril (0,19 mg.L<sup>-1</sup>), alors que la concentration minimale a été obtenue en juin (0,11 mg.L<sup>-1</sup>). Il est probable que les variables temporelles influent sur la concentration du nitrate contenu dans le liquide digestif des vers de terre.

### II.1.3.1.7- Orthophosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

Dans l'intestin antérieur, la concentration moyenne annuelle est de 3,75 ± 0,03 mg.L<sup>-1</sup>. Elle augmente légèrement et atteint la valeur maximale de 4,80 ± 0,07 mg.L<sup>-1</sup> dans la portion moyenne (Fig. 52 A). De cette portion moyenne à la portion postérieure finale, on note une légère chute de la concentration moyenne (3,60 ± 0,11 mg.L<sup>-1</sup>). La valeur obtenue ici est très proche de celle enregistrée dans la portion antérieure. La concentration moyenne globale de l'ensemble du tube digestif est de 4,05 ± 0,07 mg.L<sup>-1</sup>.



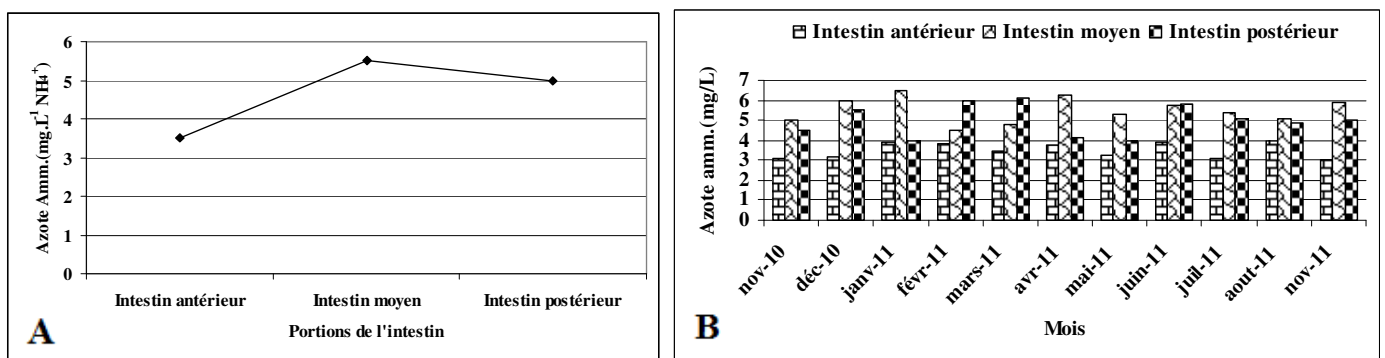
**Figure 52: Concentrations en ions orthophosphates le long du tube digestif de *Alma emini*.**

**A** : variations moyennes annuelles ; **B** : variations mensuelles.

Les variations des teneurs en orthophosphates montrent une différence significative entre les portions antérieure et moyenne ( $P = 0,031$ ), antérieure et postérieure ( $P = 0,026$ ), moyenne et postérieure ( $P = 0,011$ ). Dans l'ensemble, nous constatons une faible variation des concentrations en ions orthophosphates le long du tube digestif de *A. emini*. Ces concentrations sont comprises entre  $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$  et  $3,8 \text{ mg.L}^{-1}$  dans l'intestin antérieur ;  $4,7 \text{ mg.L}^{-1}$  et  $4,9 \text{ mg.L}^{-1}$  dans l'intestin moyen ; enfin  $3,6 \text{ mg.L}^{-1}$  et  $3,8 \text{ mg.L}^{-1}$  dans la portion postérieure de l'intestin (Fig. 52 B). Les variations temporelles semblent n'avoir aucun impact sur les concentrations d'ions orthophosphates du liquide intestinal des vers de terre.

### III.1.3.1.8- Azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

Les concentrations annuelles en azote ammoniacal du liquide intestinal des vers de terre disséqués augmentent de l'intestin antérieur ( $3,50 \pm 0,38 \text{ mg.L}^{-1}$ ) vers l'intestin moyenne ( $5,50 \pm 0,63 \text{ mg.L}^{-1}$ ) et chutent légèrement dans l'intestin postérieur ( $5,00 \pm 0,78 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Quelle que soit la portion du tube digestif, les valeurs de ce paramètre sont comprises entre  $3,1 \text{ mg.L}^{-1}$  et  $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$  (Fig. 53 A et 53 B). L'évolution de ces valeurs est significative entre les fractions de l'intestin ( $P = 0,031$ ), notamment entre les portions antérieure et moyenne ( $P = 0,012$ ) antérieure et postérieure ( $P = 0,021$ ), moyenne et postérieure ( $P = 0,010$ ). Comme les orthophosphates et les nitrites, l'azote ammoniacal se condense dans la fraction moyenne où il atteint son optimum ; avant de chuter dans la portion postérieure. L'intestin moyen *A. emini* serait donc le lieu d'intenses activités métaboliques.

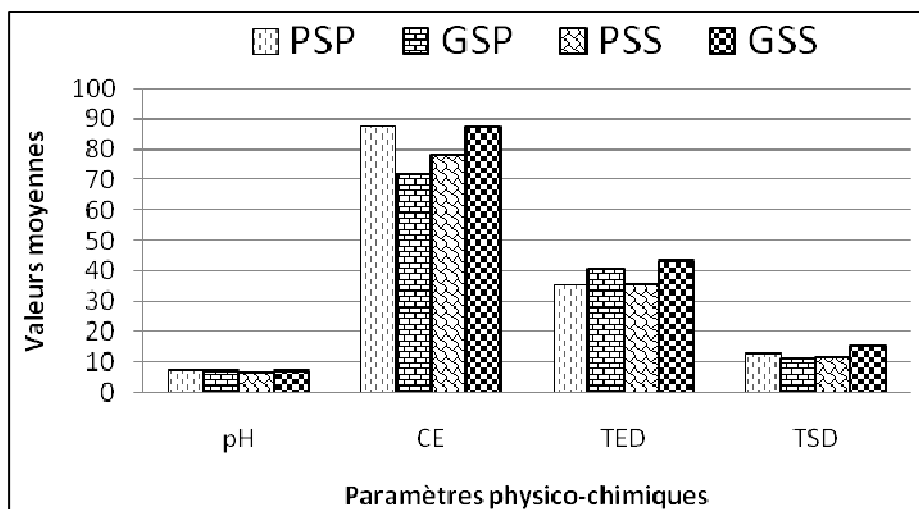


**Figure 53: Concentrations moyennes en azote ammoniacal le long du tube digestif de *Alma emini*.**

**A** : variations moyennes annuelles ; **B** : variations mensuelles.

### III.1.3.2- Variations saisonnières des différents paramètres physico-chimiques de l'ensemble des portions du tractus digestif de *A. emini*

Pour chaque paramètre mesuré, les valeurs moyennes de l'ensemble des portions du tube digestif de *A. emini* ont été obtenues, puis regroupées en quatre saisons : Petite Saison des Pluies (PSP) qui couvre les mois de mars, avril, mai et juin ; Grande Saison des Pluies (GSP) qui regroupe les mois de septembre, octobre et novembre ; Petite Saison Sèche (PSS) regroupant les mois de juillet et août ; Grande Saison Sèche (GSS) qui couvre les mois de décembre, janvier et février.



**Figure 54: Variations saisonnières des valeurs du pH, de la CE, TED et TSD de l'ensemble des portions du tube digestif de *A. emini*.**

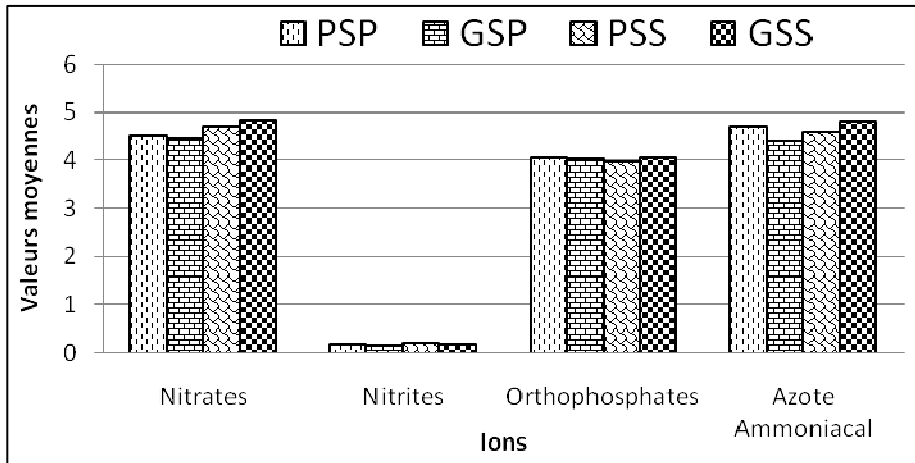
En fonction des saisons, les valeurs du pH du liquide intestinal de *A. emini* varient très peu (entre 6,70 en PSS et 6,99 en GSP) avec une moyenne annuelle de  $6,88 \pm 0,09$ . Les valeurs de la conductivité électrique (CE) sont de  $87,32 \mu\text{S}/\text{cm}$  (PSP),  $71,54 \mu\text{S}/\text{cm}$  (GSP),  $78,09 \mu\text{S}/\text{cm}$  (PSS) et  $87,29 \mu\text{S}/\text{cm}$  (GSS) ; la valeur moyenne annuelle est de  $81,06 \pm 3,11 \mu\text{S}/\text{cm}$ . La teneur en eau du contenu digestif (TED) varie entre 35,10 % et 43,37 % ; ces valeurs extrêmes sont respectivement obtenues en PSP et en GSS. La teneur en substance dissoute (TSD) varie également très peu (Fig. 54). Sa valeur minimale (11,18 %) a été observée en GSP tandis que la valeur maximale (15,12 %) a été enregistrée en GSS et sa valeur moyenne annuelle est de  $12,55 \pm 1,23 \%$ .

Bien que ces paramètres du tractus digestif des vers de terre fluctuent légèrement d'une saison à l'autre, la comparaison des moyennes ne montre aucune différence significative ( $P = 0,63$ ).

Les teneurs en nitrates, nitrites, orthophosphates et azotes ammoniacal contenus dans le liquide intestinal de *A. emini* fluctuent également très peu, suivant les saisons de l'année (Fig.



55). Les concentrations en nitrates varient de 4,53 mg.L<sup>-1</sup> (PSP) ; 4,46 mg.L<sup>-1</sup> (GSP) ; 4,71 mg.L<sup>-1</sup> (PSS) et 4,85 mg.L<sup>-1</sup> (GSS). Les teneurs en nitrites, très faibles, sont presque identiques à toutes les saisons de l'année (0,19 mg.L<sup>-1</sup>). Les teneurs moyennes annuelles respectives des ions orthophosphates et ammoniums sont de 4,04 ± 0,30 mg.L<sup>-1</sup> et 4,62 ± 0,10 mg.L<sup>-1</sup>



**Figure 55 : Variations saisonnières des teneurs en nitrates, nitrites, orthophosphates et azote ammoniacal de l'ensemble des portions du tube digestif de *A. emini*.**

La comparaison des valeurs ioniques en fonction des saisons montre une différence non significative. Ces résultats nous laissent penser que les variables saisonnières auraient peu ou pas d'influence directe sur les teneurs de diverses composantes physico-chimiques du tractus digestif des oligochètes.

### III.1.3.3- Richesse spécifique et abondance des Ciliés le long du tractus digestif de *A emini*

Dans cette partie de notre étude, 10 genres regroupant 24 espèces ont été recensés et dénombrés. Treize espèces appartiennent à la sous classe Astomatia, tandis que les onze autres sont de la famille Hysteroecinetidae.

#### III.1.3.3.1- Sous-classe Astomatia

En général, on note une diminution du nombre d'Astomes, de l'intestin antérieur vers l'intestin moyen ; ces deux portions étant leur lieu de concentration maximale. L'intestin postérieur héberge peu ou pas d'Astome (Tableau 3).

**Tableau III: Diversité et abondance moyenne annuelle d’Astome le long du tube digestif de *A. emini***

Espèces	Portions de l’intestin		
	Antérieur (m ± σ)	Moyen (m ± σ)	postérieur (m ± σ)
<i>Almophryra bivacuolata</i> de Puytorac & Dragesco, 1968	58 ± 11	25 ± 4	0
<i>Almophryra mediovacuolata</i> Ngassam, 1983	73 ± 10	28 ± 5	0
<i>Almophryra laterovacuolata</i> de Puytorac & Dragesco, 1968	14 ± 3	7 ± 1	0
<i>Dicoelophrya almae</i> de Puytorac & Dragesco, 1969	0	23 ± 7	5 ± 2
<i>Dicoelophrya mediovacuolata</i> Fokam, Ngassam, Nana, Bricheux, Bouchard & Sime Ngando, 2012	0	20 ± 5	7 ± 2
<i>Paracoelophrya intermedia</i> de Puytorac, 1969	48 ± 8	27 ± 5	3 ± 1
<i>Paracoelophrya polymorphus</i> Fokam, Ngassam, Nana, Bricheux, Bouchard & Sime Ngando, 2012	33 ± 6	19 ± 4	1 ± 0
<i>Paracoelophrya ebebdensis</i> Fokam, Ngassam, Nana, Bricheux, Bouchard & Sime Ngando, 2012	56 ± 7	34 ± 7	18 ± 7
<i>Metaracoelophrya. intermedia</i> de Puytorac & Dragesco, 1968	32 ± 6	18 ± 8	1 ± 0
<i>Coelophrya roquei</i> de Puytorac & Dragesco, 1969	62 ± 4	24 ± 3	1 ± 0
<i>Coelophrya ovaes</i> Fokam, Ngassam, Boutin & Zébazé Togouet, 2008	27 ± 4	16 ± 3	0
<i>Coelophrya ebebdensis</i> Fokam, Ngassam, Boutin & Zébazé Togouet, 2008	59 ± 9	23 ± 6	0
<i>Anoplophrya simplex</i> n. sp.	36 ± 6	13 ± 3	0

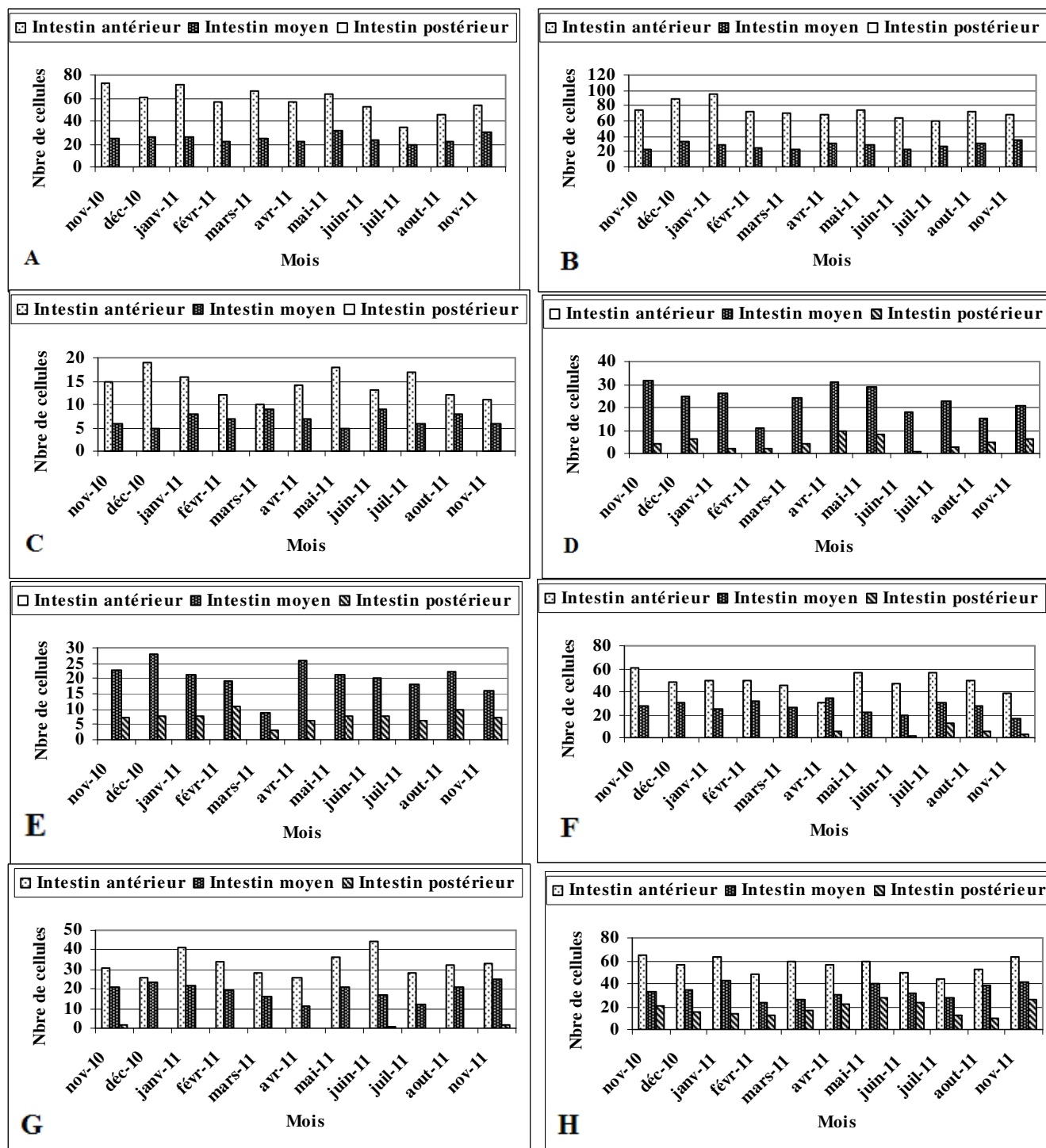
m : moyenne ; σ : écart type

En dehors des espèces *Almophrya bivacuolata*, *A. mediovacuolata*, *A. laterovacuolata*, *Coelophrya ovaes* et *Anoplophrya simplex* totalement absents dans l’intestin postérieur et les espèces du genre *Dicoelophrya*, confinées dans l’intestin moyen et absentes dans l’intestin antérieur, tous les autres Astomes recensés au cours de notre étude ont une localisation plus étendue sur le tube digestif de leur hôte. Dans ce cas, ces espèces pourraient être qualifiées de tolérantes car elles supportent toutes les fluctuations des paramètres physico-chimiques enregistrées dans le tractus digestif des vers.

Les Astomes les plus abondants du tube digestif de *A. emini* sont : *Paracoelophrya ebebdensis* avec une moyenne de 108 cellules par ver ; *Almophrya mediovacuolata* qui compte en moyenne 101 cellules par ver. Par contre les espèces les moins abondantes sont les Ciliés *Almophrya laterovacuolata*, *Dicoelophrya almae* et *Dicoelophrya mediovacuolata* qui comptent en moyenne et par ver respectivement 21, 28 et 27 cellules.

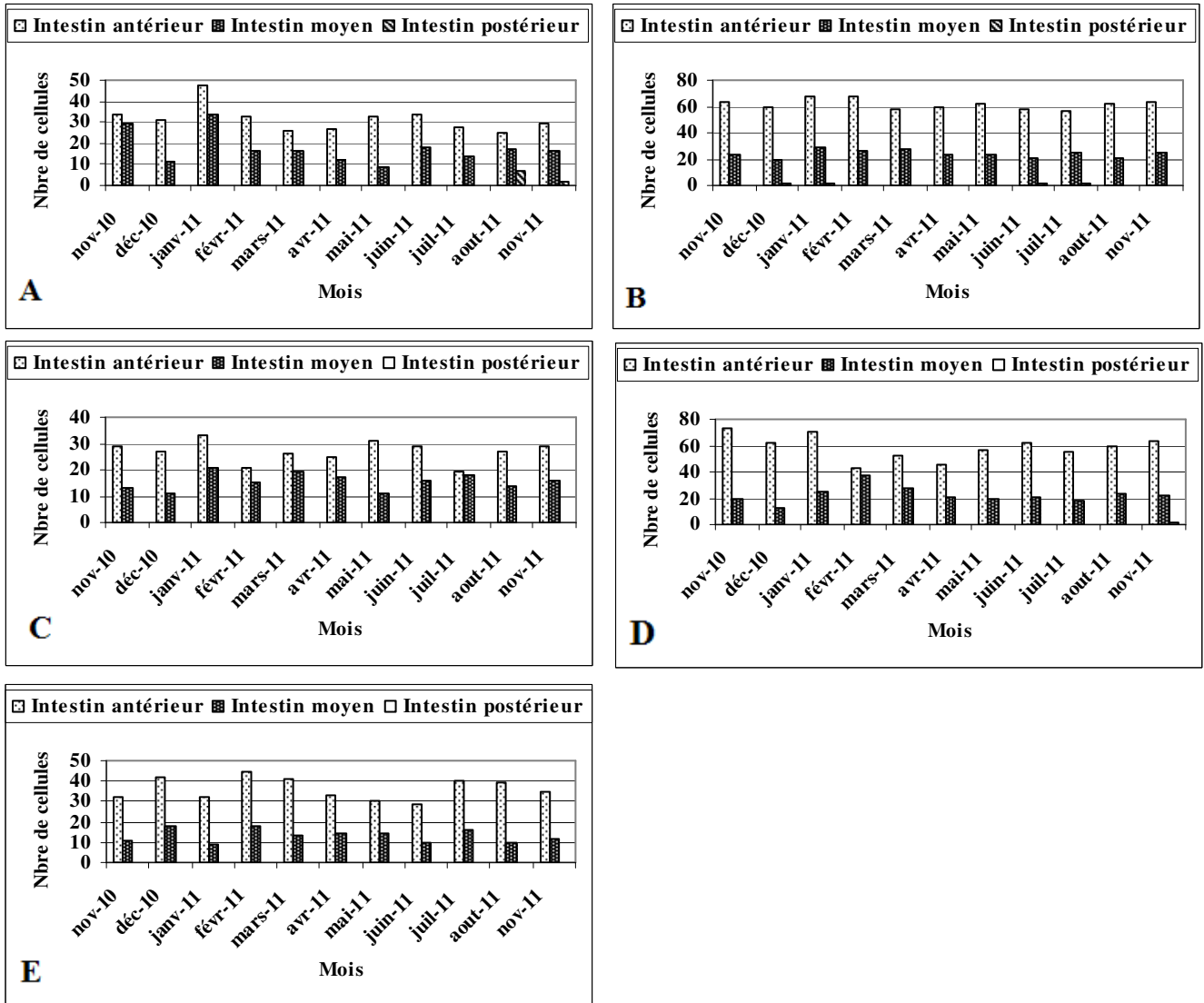
Dans la portion moyenne du tube digestif de *A. emini*, qualifiée de zone tampon, on note une parfaite cohabitation intra et interspécifique entre tous les Astomes.

Les données enregistrées au cours de notre étude montrent clairement que les Ciliés appartenant au genre *Almophrya*, de même que *Anoplophrya simplex* et *Coelophrya ovals*, sont totalement absents dans la fraction postérieure du tube digestif des vers, bien que leur nombre décroît lorsqu'on se dirige de la portion antérieure vers la portion postérieure (Fig. 56 et 57). Par contre, les Ciliés du genre *Dicoelophrya* durant toute la période d'étude ont été systématiquement absents dans la fraction antérieure du tube digestif, mais retranchés dans les deux autres fragments. Notons aussi que les abondances moyennes de ces Ciliés varient d'un mois à l'autre.



**Figure 56: Variations mensuelles de l'abondance des Ciliés Astomes appartenant aux genres *Almophryra*, *Dicoelophrya* et *Paracoelophrya*.**

**A :** *A. bivacuolata* ; **B :** *A. mediovacuolata* ; **C :** *A. laterovacuolata* ; **D :** *D. almae*, **E :** *D. mediovacuolata* ; **F :** *P. intermedia* ; **G :** *P. ebeddensis* ; **H :** *P. polymorphus*.



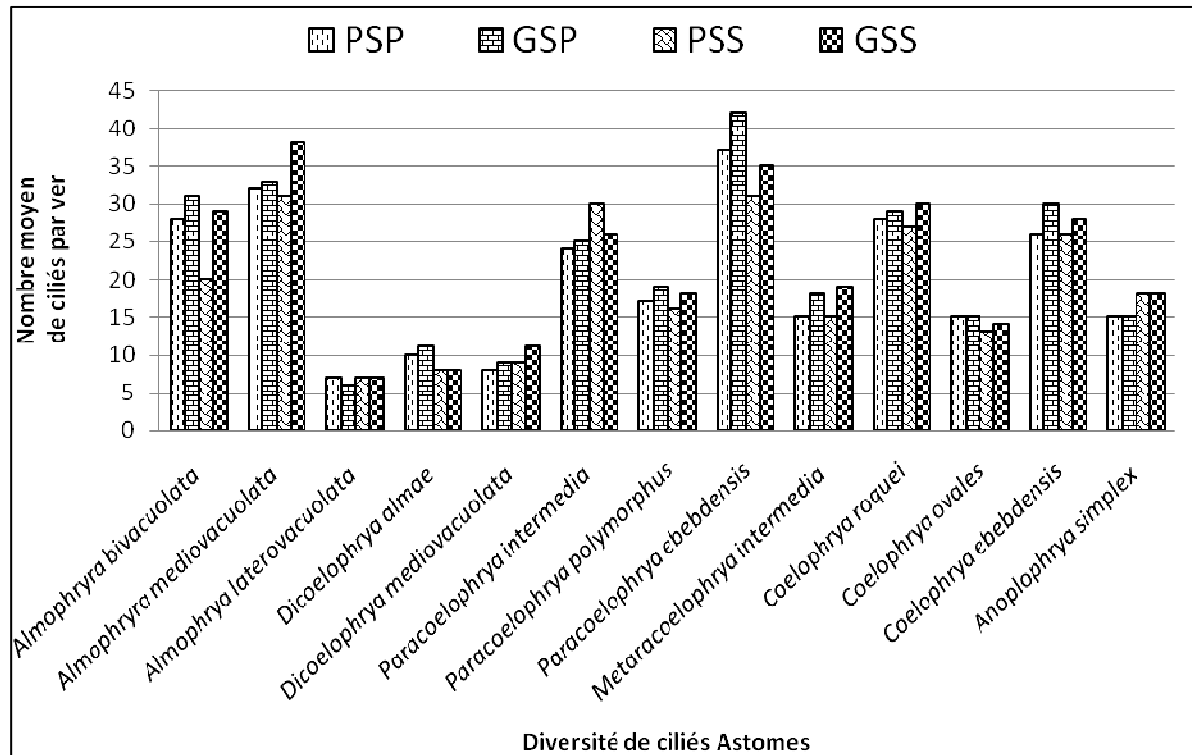
**Figure 57: Variations mensuelles de l'abondance des Ciliés Astomes appartenant aux genres *Metaracoelophrya*, *Coelophrya* et *Anoplophrya*.**

A : *M. intermedia*; B : *C. roquei*; C : *C. ovales* ; D: *C. ebebdensis* ; E : *A. simplex*

### III.1.3.3.2- Variations saisonnières de la biomasse des Astomes de l'ensemble des portions du tractus digestif de *A emini*

Les Ciliés Astomes ont été présents pendant toute la période d'étude (Fig. 58). Pour chaque espèce et suivant les saisons de l'année, le nombre moyen de cellules par ver de terre varie très peu. On dénombre en moyenne 28 cellules d'*Almophrya bivacuolata* en PSP ; 31 en GSP ; 20 en PSS et 29 en GSS. La charge saisonnière d'*Almophrya laterovacuolata* varie entre 6 et 7 cellules alors que celle de *Paracoelophrya ebebdensis* fluctue entre 31 et 42 cellules. La comparaison des moyennes des abondances de chaque espèce en fonction des saisons montre

une différence non significative ( $P = 0,52$ ). Les variations saisonnières semblent n'avoir aucune influence sur la dynamique des Ciliés Astomes du tube digestif annélides Glossoscolecidae du genre *Alma*.



**Figure 58 : Variations saisonnières de l'abondance des Astomes de l'ensemble des portions du tube digestif de *A. emini*.**

### III.1.3.3.3- Famille Hysteroecinetidae

Les Ciliés Hysteroecinetidés à l'inverse des Astomes, sont en général confinés dans les parties moyenne et postérieure du tractus digestif de *A. emini*. Ils sont totalement absents dans la portion antérieure (Tableau IV). Les espèces *Metaptychostomum ebebdae*, *Metaptychostomum pirimorphus*, *Ptychostomum sanagae* et *Preptychostomum microstomum* avec une moyenne respective de 23, 21, 15 et 25 Ciliés par ver, atteignent leur abondance maximale dans la portion moyenne de l'intestin. Par contre, *Ptychostomum prolixus*, *Ptychostomum commune*, *Ptychostomum elongatum*, *Ptychostomum variabilis*, *Proptychostomum commune* et *Proptychostomum simplex* obtiennent leur plus grande concentration dans l'intestin postérieur. Dans ces deux parties du tube digestif, on note une cohabitation effective inter et intra spécifique entre Ciliés de la famille des Hysteroecinetidae.

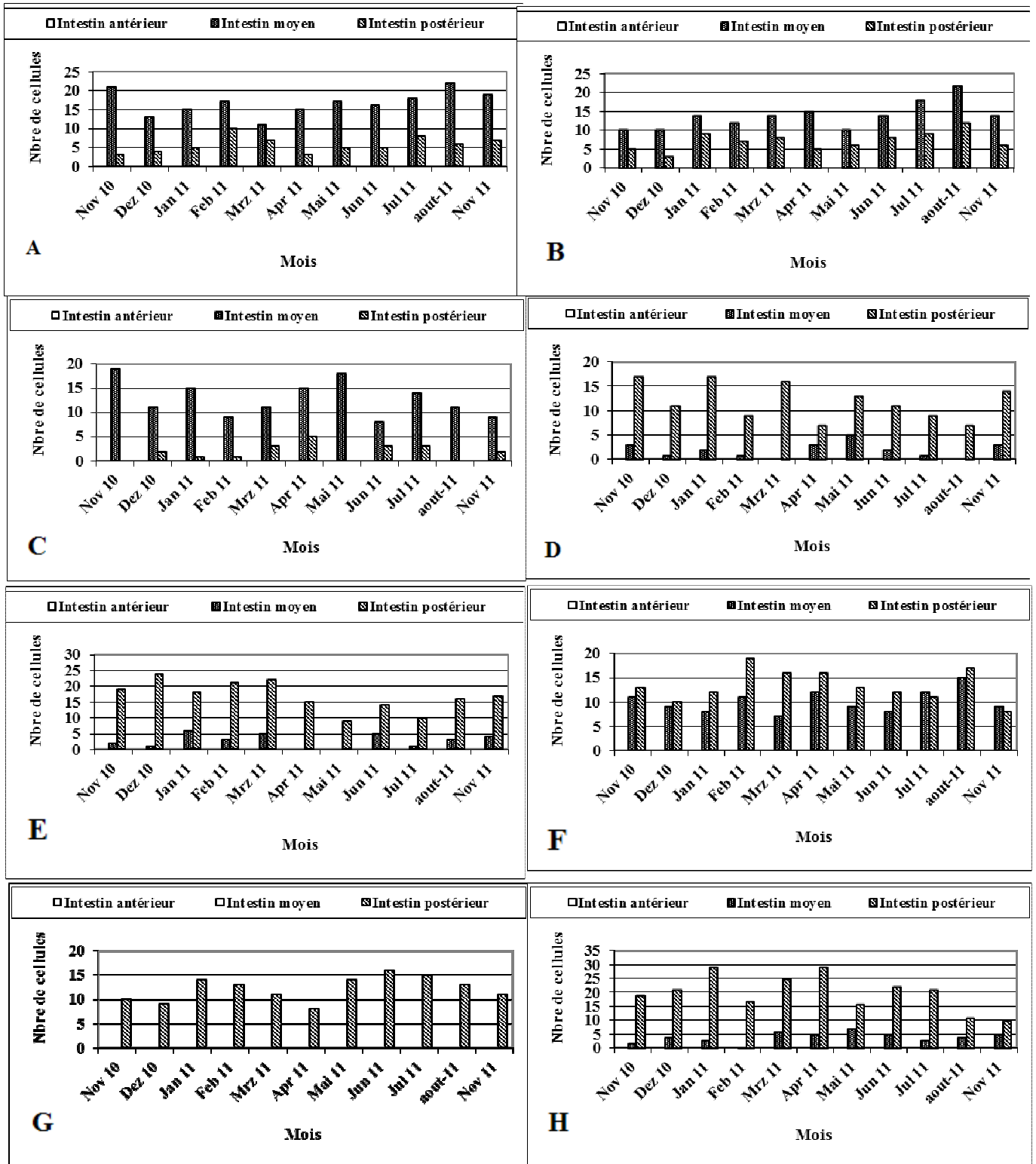
**Tableau IV: Diversité et abondance moyenne annuelle d' Hysteroconetidés le long du tube digestif de *Alma emini***

Espèces	Portions de l'intestin		
	Antérieur (m ± σ)	Moyen (m ± σ)	postérieur (m ± σ)
<i>Metaptychostomum ebebdæ</i> Ngassam & Grain, 1997	0	17 ± 3	6 ± 2
<i>Metaptychostomum pirimorphus</i> Ngassam & Grain, 2000	0	14 ± 4	7 ± 2
<i>Ptychostomum sanagæ</i> Ngassam & Grain, 2000	0	13 ± 4	2 ± 1
<i>Ptychostomum prolixus</i> Njiné & Ngassam, 1993	0	2 ± 1	12 ± 4
<i>Ptychostomum commune</i> de Puytorac, 1968a	0	3 ± 1	17 ± 5
<i>Ptychostomum macrostomum</i> Ngassam, 1992	0	10 ± 2	13 ± 3
<i>Ptychostomum elongatum</i> Njiné & Ngassam, 1993	0	0	12 ± 3
<i>Ptychostomum variabilis</i> Ngassam & Grain, 2000	0	4 ± 2	20 ± 6
<i>Proptychostomum commune</i> Ngassam & Grain, 1997	0	0	11 ± 3
<i>Proptychostomum simplex</i> Ngassam & Grain, 1997	0	4 ± 2	22 ± 3
<i>Preptychostomum microstomum</i> Ngassam, Grain & Njiné, 1993	0	19 ± 6	6 ± 3

m : moyenne ; sd : écart type

Nous notons que *Ptychostomum elongatum* et *Proptychostomum commune* sont totalement retranchés dans la portion postérieure de l'intestin avec une moyenne de 11 à 12 Ciliés par ver de terre.

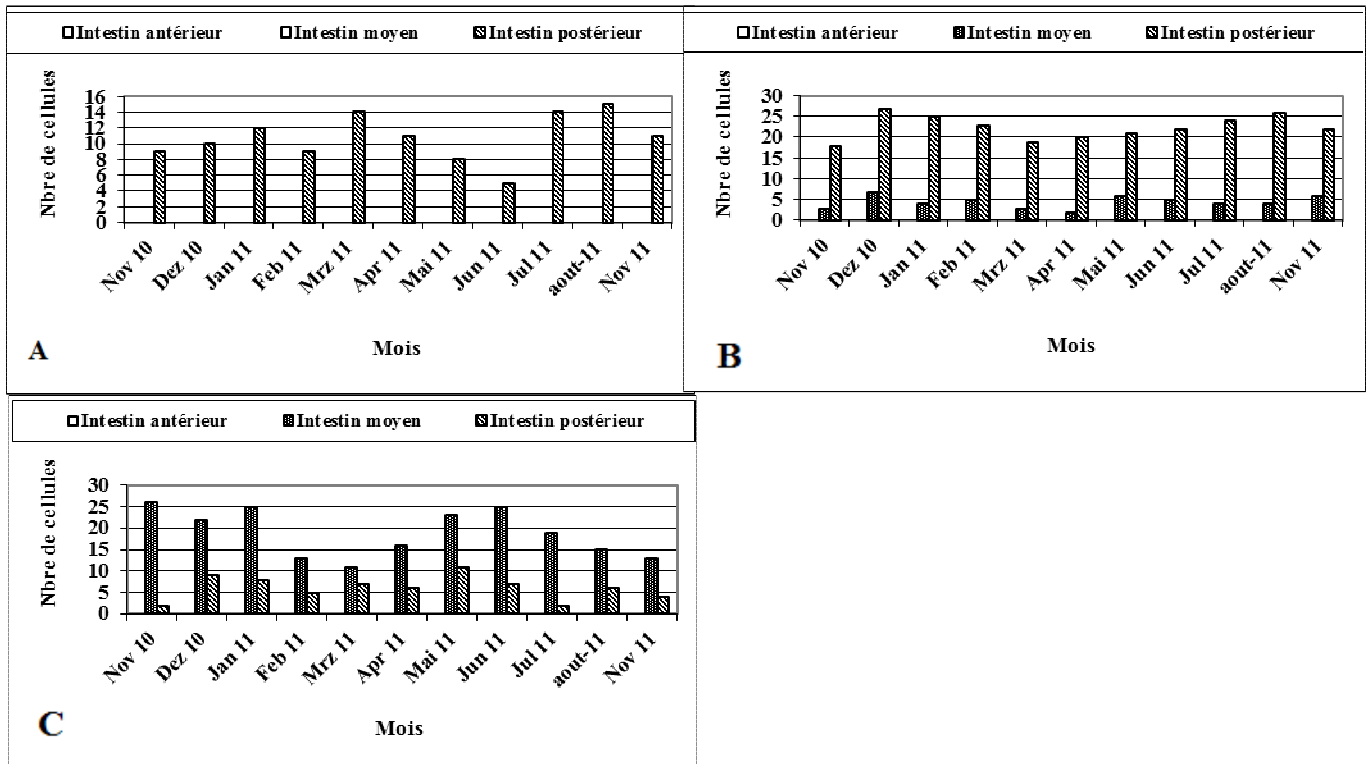
Dans l'intestin moyen, considéré comme zone tampon, on note d'une part une cohabitation intra spécifique entre Ciliés de chaque groupe (Hysteroconetidés et Astomes), d'autre part une cohabitation inter spécifique entre Ciliés appartenant à ces deux groupes de microorganismes. Au regard des tableaux III et IV, l'on remarque que l'intestin antérieur est le biotope préféré des Astomes. Durant toute la période d'étude, le nombre total de chaque Cilié Hysteroconetidés variait d'un mois à l'autre (Fig. 59 et 60)



**Figure 59: Variations mensuelles de l'abondance des Ciliés Hysteroconetidés appartenant aux genres *Metaptychostomum* et *Ptychostomum*.**

**A :** *M. ebebdæ* ; **B :** *M. pirimorphus* ; **C :** *P. sanagæ* ; **D :** *P. prolixus* ; **E :** *P. commune* ; **F :** *P. macrostomum* ; **G :** *P. elongatum* ; **H :** *P. variabilis*



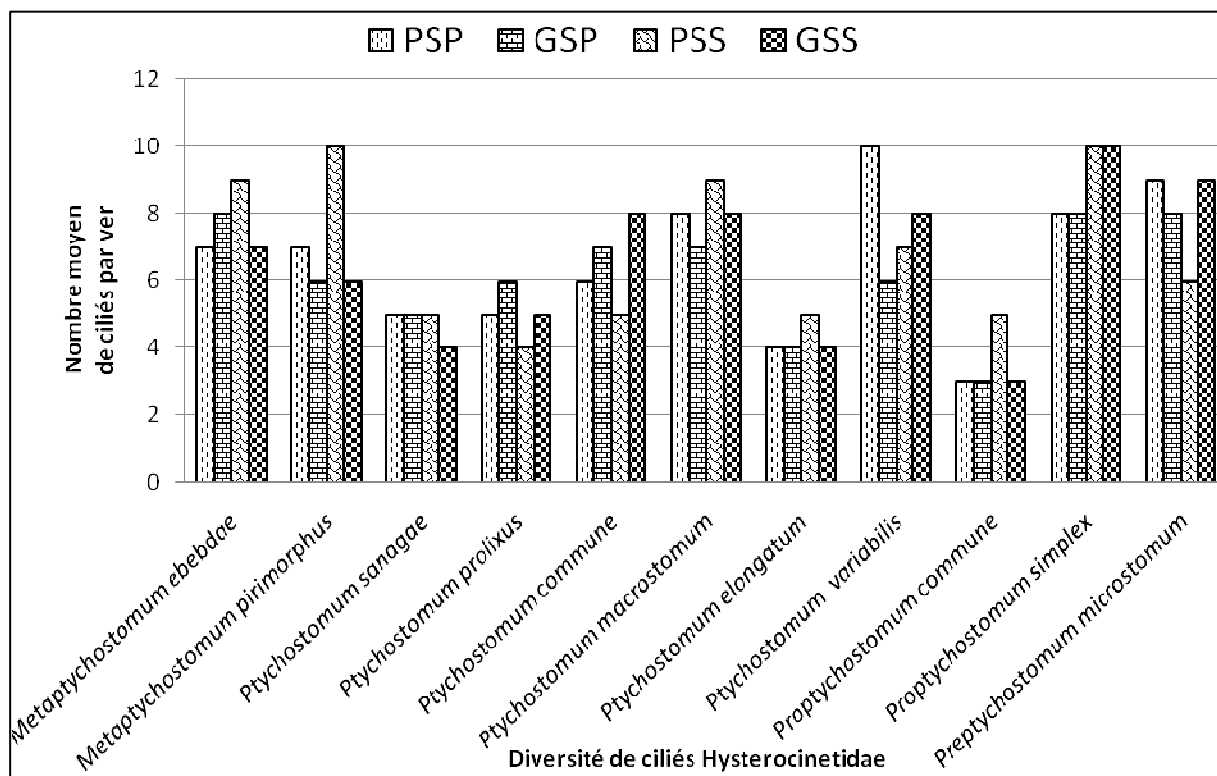


**Figure 60: Variations mensuelles de l'abondance des Ciliés Hysteroconetidés appartenant aux genres *Proptychostomum* et *Preptychostomum*.**

**A : *Proptychostomum commune* ; B : *Proptychostomum simplex* ; C : *Preptychostomum microstomum***

### III.1.3.3.4- Variations saisonnières de l'abondance des Hysteroconetidés de l'ensemble des portions du tractus digestif de *A emini*

Les Ciliés Hysteroconetidés ont été présents pendant toute la période d'étude (Fig. 61). Pour chaque espèce et suivant les saisons de l'année, le nombre moyen de cellules par ver de terre varie très peu. On dénombre en moyenne 7 cellules de *Metaptychostomum pirimorphus* en PSP contre 6 en GSP ; 10 en PSS et 6 en GSS. La charge saisonnière de *Ptychostomum elongatum* varie entre 4 et 5 cellules alors que celle de *Proptychostomum simplex* fluctue entre 8 et 10 cellules. La comparaison des moyennes des abondances de chaque espèce en fonction des saisons montre une différence non significative ( $P = 0,61$ ). Les variations saisonnières semblent n'avoir aucune influence sur la dynamique des Ciliés Hysteroconetidés du tube digestif annélides Glossoscolecidae du genre *Alma*.



**Figure 61: Variations saisonnières de l'abondance des Ciliés Hysterocestidés de l'ensemble des portions du tube digestif de *A. emini*.**

### III.1.3.4- Corrélation entre Ciliée et variables physico-chimiques du tube digestif de *A. emini*

Les tests de corrélations de rang Spearman effectués montrent qu'il existe des liaisons étroites entre abondance des Ciliés et variables physico-chimiques dans les différentes fractions du tube digestif des vers.

#### III.1.3.4.1- Astomes et physico-chimie (pH, CE, TED et TSD)

Des corrélations se sont révélées significatives entre paramètres physico-chimiques et ciliés Astomes du tube digestif de *A. emini* ; en dehors de l'intestin moyen. Dans l'intestin antérieur plus fluide, il existe une corrélation positive et significative entre *Metaracoelophrya intermedia* et la TED ( $r = 0,694$  ;  $P < 0,05$ ), entre *Coelophrya roquei* et la TED ( $r = 0,628$  ;  $P < 0,05$ ). Ces deux Ciliés dont leur nombre augmente avec la teneur en eau, sont très mobiles et actifs dans le milieu intestinal. Bien qu'ayant une faible représentation dans l'intestin moyen, on peut donc dire que les Ciliés appartenant aux genres *Metaracoelophrya* et *Coelophrya* prolifèrent dans un environnement plus fluide. En effet, ces deux Ciliés comme tous les autres

Astomes sont dépourvus de bouche et d'appareil de fixation. Par conséquent, ils doivent donc se laisser entraîner par le circuit d'eau du tube digestif dans le but de fixer les substances nutritives. Il est important de remarquer que les Astomes ne se contentent plus d'ailleurs que d'une simple nutrition par osmose.

Dans la portion postérieure, la corrélation est négative et significative entre *Coelophrya roquei* et le pH ( $r = -0,669$  ;  $P < 0,05$ ). L'abondance de ce Cilié baisse lorsque le pH augmente. *Coelophrya roquei* est donc caractéristique des milieux acides. En général, nous pouvons penser que les Ciliés Astomes, regroupés dans l'intestin antérieur, préfèrent un pH acide ou proche de l'acidité ; exception faite à quelques espèces dites tolérantes qui sont largement répandues le long du tube digestif de leur hôte (*Paracoelophrya ebebdensis* par exemple).

Ces résultats témoignent la grande affinité qui existe entre les infusoires Astomes et les variables physico-chimiques qui prévalent dans leur biotope respectif. En général, la densité des Astomes dans chaque portion du tube digestif de *A. emini* est très variable, suivant les conditions du milieu et les préférences de chaque Cilié.

#### **III.1.3.4.2- Hysterocinetidés et physico-chimie (pH, CE, TED et TSD)**

L'intestin antérieur étant dépourvu de Ciliés Hysterocinetidés, les corrélations se sont révélées significatives uniquement dans les portions moyenne et postérieure.

Dans l'intestin moyen, la corrélation est négative et significative entre *Metaptychostomum ebebdae* et la CE ( $r = -0,717$  ;  $P < 0,05$ ), entre *Ptychostomum macrostomum* et la CE ( $r = -0,725$  ;  $P < 0,05$ ). L'abondance de ces deux espèces augmente lorsque la conductivité électrique baisse. Il semble donc que *Metaptychostomum ebebdae* et *Ptychostomum macrostomum* sont caractéristiques des milieux moins riches en ions et en sels minéraux. Dans la portion moyenne de l'intestin également, il existe une corrélation négative et significative entre *Ptychostomum macrostomum* et la TED ( $r = -0,619$  ;  $P < 0,05$ ). Lorsque la teneur en substances dissoutes augmente, le nombre de Cilié *Ptychostomum macrostomum* diminue. Ce Cilié ne supporterait pas des milieux à fortes teneurs en substances dissoutes mais plutôt des zones où cette teneur est minimale, en moyenne  $10,75 \pm 3,76$  %.

Dans l'intestin postérieur, il existe une corrélation positive et très significative entre *Ptychostomum macrostomum* et le pH ( $r = 0,755$  ;  $P < 0,01$ ). Ainsi, l'abondance de ce Cilié augmente avec le pH du milieu. *Ptychostomum macrostomum* vit et prolifère en milieu alcalin (pH voisin de 7,35). Ceci est vrai pour la grande majorité d'Hysterocinetidés, car ils sont pour la plupart confinés dans cette partie de l'intestin. Dans la même portion de l'intestin, la corrélation est négative et significative entre *Ptychostomum commune* et la TED ( $r = -0,682$  ;

$P < 0,05$ ). Lorsque la teneur en eau baisse, la quantité de cellules *Ptychostomum commune* augmente. Ce Cilié obtient sa densité maximale en milieu moins fluide où la teneur moyenne en eau est voisine de 28,84 %. Les Ciliés Hysterocinetidés en général et *Ptychostomum commune* en particulier sont munis d'une ventouse ou appareil d'accrochage. Ils vivent donc accrochés sur les parois internes de leurs hôtes où ils tirent sans doute leurs substances nutritives. Ils ne se laissent donc pas entraîner par le courant d'eau du tube digestif, car vivent en milieu pauvre en eau.

L'ensemble de ces résultats matérialise le grand rapport qui existe entre les Hysterocinetidés et les paramètres environnementaux qui prévalent dans leurs biotopes respectifs.

#### **III.1.3.4.3- Astomes et ions ( $\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ et $\text{NH}_4^+$ )**

D'après les tests de corrélations, les Ciliés Astomes du tube digestif de *A. emini* sont fortement corrélés aux teneurs en ions de leur milieu.

Dans l'intestin antérieur, la corrélation est significative et négative entre *Paracoelophrya ebebdensis* et la teneur en orthophosphates ( $r = -0,633$  ;  $P < 0,05$ ). Le nombre de Cilié *Paracoelophrya ebebdensis* diminue lorsque la concentration en orthophosphates augmente. Nous pouvons donc dire que ce Cilié comme bien d'autres Astomes préfèrent des faibles concentrations d'orthophosphates, voisines de  $3,75 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Dans la portion moyenne de l'intestin, des corrélations significatives et positives existent entre *Almophrya mediovacuolata* et ions ammoniums ( $r = 0,616$  ;  $P < 0,05$ ); entre *Coelophrya roquei* et ions nitrites ( $r = 0,603$  ;  $P < 0,05$ ) ; entre *Coelophrya ovaes* et ions nitrites ( $r = 0,606$  ;  $P < 0,05$ ). Ainsi, il existe des relations étroites entre ces Ciliés et les concentrations ioniques de leur milieu. Les *Almophrya* et *Coelophrya* vivent en milieu riche en ions où ils tirent par osmose leurs substances nutritives. Egalement dans l'intestin moyen, la corrélation est négative et significative entre *Dicoelophrya mediovacuolata* et ions nitrites ( $r = -0,662$  ;  $P < 0,05$ ). Contrairement aux *Almophrya* et *Coelophrya*, on peut donc dire que les *Dicoelophrya* préfèrent les milieux moins riches en ions.

L'intestin postérieur héberge très peu ou pas de Cilié Astome et par conséquent, aucune corrélation ne s'est révélée significative dans cette partie du tube digestif.

#### **III.1.3.4.4- Hysterocinetidés et ions ( $\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ et $\text{NH}_4^+$ )**

L'intestin antérieur est totalement dépourvu de Ciliés Hysterocinetidés. A cet effet, les corrélations se sont révélées significatives uniquement dans les portions moyenne et postérieure du tube digestif des vers.

En effet, dans la portion moyenne, il existe une corrélation négative et très significative entre *Ptychostomum prolixus* et ions nitrites ( $r = -0,735$  ;  $P < 0,01$ ). L'abondance de ce Cilié augmente lorsque les concentrations en ions nitrites diminuent. Cette espèce, comme certains Astomes vit en milieu pauvre en nitrites. Une corrélation positive et significative existe entre *Ptychostomum commune* et les ions nitrites ( $r = 0,630$  ;  $P < 0,05$ ). Ce Cilié est donc fortement attaché au milieu riche en ions nitrates.

Dans l'intestin postérieur, la corrélation est positive et très significative entre *Ptychostomum variabilis* et les ions orthophosphates ( $r = 0,768$  ;  $P < 0,01$ ). Vivant généralement fixés sur les parois internes de leurs hôtes où ils tirent sans doute leurs substances nutritives, *Ptychostomum prolixus*, *Ptychostomum commune*, *Ptychostomum variabilis* en particulier et les Hysteroconetidés en général assimilent les ions contenus dans leur milieu.

#### **III.1.3.4.5- Astome et Hysteroconetidés**

Les principales corrélations significatives entre Astomes et Hysteroconetidés se trouvent être uniquement dans les portions moyenne et postérieur de l'intestin des vers.

##### **III.1.3.4.5.1- Dans l'intestin moyen**

Dans l'intestin moyen, plusieurs corrélations (positives ou négatives) sont significatives ou très significatives entre Astomes et Hysteroconetidés. On note des corrélations négatives et significatives entre *Almophrya bivacuolata* et *Metapteryostomum pirimorphus* ( $r = -0,638$  ;  $P < 0,05$ ), entre *Anoplophrya simplex* et *Ptychostomum commune* ( $r = -0,637$  ;  $P < 0,05$ ), entre *Almophrya bivacuolata* et *Ptychostomum macrostomum* ( $r = -0,618$  ;  $P < 0,05$ ). Dans chaque cas, l'abondance du Cilié Astome décroît lorsque celle du Cilié Hysteroconetidae augmente.

On observe également dans l'intestin moyen, des corrélations positives et significatives entre *Almophrya laterovacuolata* et *Ptychostomum commune* ( $r = 0,727$  ;  $P < 0,05$ ), entre *Coelophrya ebebdensis* et *Ptychostomum commune* ( $r = 0,671$  ;  $P < 0,05$ ), entre *Paracoelophrya intermedia* et *Ptychostomum macrostomum* ( $r = 0,622$  ;  $P < 0,05$ ), entre *Paracoelophrya polymorphus* et *Proptychostomum simplex* ( $r = 0,639$  ;  $P < 0,05$ ). Cette corrélation est positive et hautement significative entre *Dicoelophrya almae* et *Ptychostomum sanagae* ( $r = 0,862$  ;  $P < 0,01$ ), entre *Metaracoelophrya intermedia* et *Ptychostomum commune* ( $r = 0,773$  ;  $P < 0,01$ ). Dans ces cas de corrélations positives et significatives ou très significatives, la densité des Ciliés Astomes augmente concomitamment avec celle des Ciliés Hysteroconetidés. Ces différentes corrélations observées dans l'intestin moyen montrent d'une part une grande disparité entre certains Astomes et Hysteroconetidés (cas des corrélations négatives) et d'autre

part, une grande affinité entre certains Ciliés qui colonisent cette partie du tube digestif (cas des corrélations positives).

L'intestin moyen caractérisé par un pH alcalin, une teneur en substances dissoutes élevée par rapport à d'autres portions de l'intestin peut être considéré comme une zone tampon, c'est le lieu de cohabitation entre Astomes et Hysteroconetidés qui ont sans doute les mêmes habitudes nutritionnelles et les réponses similaires aux variations des conditions de leur milieu.

#### **III.1.3.4.5.2- Dans l'intestin postérieur**

L'intestin postérieur est colonisé par une forte population d'Hysteroconetidés. Il héberge moins d'Astomes. Dans cette partie du tube digestif, ils existent des corrélations significatives, toutes négatives.

Ces corrélations existent entre *Dicoelophrya mediovacuolata* et *Ptychostomum sanagae* ( $r = -0,615$  ;  $P < 0,05$ ), *Paracoelophrya intermedia* et *Ptychostomum prolixus* ( $r = -0,655$  ;  $P < 0,05$ ), *Dicoelophrya almae* et *Ptychostomum elongatum* ( $r = -0,641$  ;  $P < 0,05$ ), *Metaracoelophrya intermedia* et *Ptychostomum variabilis* ( $r = -0,664$  ;  $P < 0,05$ ), *Paracoelophrya ebebdensis* et *Proptychostomum commune* ( $r = -0,632$  ;  $P < 0,05$ ), *Paracoelophrya ebebdensis* et *Proptychostomum simplex* ( $r = -0,606$  ;  $P < 0,05$ ). Dans ce microbiotope du tube digestif du vers, l'abondance des Hysteroconetidés (*Ptychostomum sanagae*, *Ptychostomum prolixus*, *Ptychostomum elongatum*, *Ptychostomum variabilis* et *Proptychostomum simplex*) augmente alors que celle des Astomes diminue (*Dicoelophrya mediovacuolata*, *Paracoelophrya intermedia*, *Dicoelophrya almae*, *Metaracoelophrya intermedia* et *Paracoelophrya ebebdensis*).

### **III.2-Discussion**

#### **III.2.1- Faune ciliée**

La faune ciliée du tractus digestif d'oligochètes Glossoscolecidae examinés est abondante et diversifiée. Au total 20 espèces dont 16 nouvelles ont été décrites. Ces Ciliés appartiennent aux genres *Nyctotherus* Leidy, 1849 (3 espèces) et *Nyctotheroides* Albaret, 1975 (1 espèce) du groupe de Hétérotriches ; *Ptychostomum* Stein, 1860 (1 espèce), *Preptychostomum* de Puytorac, 1968a (1 espèce), *Proptychostomum* Ngassam & Grain, 1997 (1 espèce), *Thurstonia* de Puytorac, 1968b (2 espèces), *Ptychostomoides* Nana, Fokam, Ntougwa Ebague, Ngassam, Bricheux, Bouchard & Sime-Ngando, 2012 (3 espèces) et *Proptychostomoides* Nana, Fokam, Ntougwa Ebague, Ngassam, Bricheux, Bouchard & Sime-Ngando, 2012 (1 espèce) du groupe des Hysteroconetidés ; *Almophrya* de Puytorac & Dragesco, 1968 (3 espèces),

*Anoplophrya* Stein, 1860 (1 espèce), *Hoplitophrya* Stein, 1859 (1 espèce) et *Dicontophrya* de Puytorac & Dragesco, 1969 (2 espèces) du groupe des Astomes.

Dans le présent travail, nous avons retrouvé les Hétérotriches en cohabitation avec les Hysterocinetidés dans la portion postérieure du tube digestif d'oligochètes du genre *Alma* ; fait inédit. Initialement, ce groupe d'infusoires n'étaient jusqu'ici retrouvés que chez les oligochètes Megascolecidae du genre *Eupolytoreutus* (Ngassam, 1983a) et dans l'ampoule rectale des Batraciens (Albaret & Njiné, 1975).

Sachant que les fibres squelettiques ont une origine cinétodesmale chez les Hysterocinetidés, le genre *Ptychostomoïdes* dériverait de *Preptychostomum* par résolution des courts segments de cinéties isolées dans la dépression centrale de la ventouse en un champ fibrillaire à partir duquel se différencient les fibres squelettiques qui s'organiseront plus tard en strates superposés et antagonistes (*Metaptychostomum*, *Ptychostomum*). De même à partir de *Proptychostomoïdes* s'édifieront des fibres squelettiques disposées radialement à partir une aire glabre centrale (*Proptychostomum*). L'étude morphologique et ultrastructurale des genres *Ptychostomoïdes* et *Proptychostomoïdes*, ajoutée à celle d'autres genres tels que *Paraptychostomum*, *Ptychostomum* et *Kozloffia*, montre bien l'uniformité du plan d'organisation des Hysterocinetidés ; ceci confirme l'originalité et l'individualité, au sein de la classe des Oligohymenophorea ; sous-classe des Hysterocinetia (Ngassam *et al.*, 1993) sur la base des études de la stomatogénèse paracinétienne de *Ptychostomum* et de l'ultrastructure de *Paraptychostomum*.

Sur le plan morphologique *A. laterovacuolata* est conforme à la description originelle. La principale différence réside au niveau du nombre et de la disposition des vacuoles. Cette variation de l'appareil vacuolaire serait une particularité suffisante pour justifier la création d'une nouvelle espèce. Seulement, de Puytorac & Dragesco (1968) ont souligné la nécessité d'une certaine prudence dans la création de nouvelles espèces dans le genre *Almophrya*, en raison de la grande amplitude de variation qu'il paraît y avoir au sein d'une même population. L'hypothèse de Puytorac & Dragesco (1968) selon laquelle le macronoyau d'*A. laterovacuolata* prend toujours l'aspect d'un H est vérifié, à la seule différence que les branches de ce H portent quelquefois des digitations. Cette espèce retrouvée uniquement chez les oligochètes Megascolecidae a été mise en évidence chez les Glossoscolecidae. Les formes en H et intermédiaires entre H et X du macronoyau, mises en évidence chez *A. bivacuolata*, infirment l'hypothèse de de Puytorac et Dragesco (1968) selon laquelle le macronoyau de ce Cilié prend toujours l'aspect d'un X. Chez *A. bivacuolata*, les cellules Xg diffèrent de Hp et Hm non seulement par la taille du macronoyau (à peu près le double de celle des Hp) et sa

forme en X, mais aussi par l'existence de deux micronoyaux. Cette grande diversité de formes de l'appareil nucléaire, témoignerait d'une forte diversité au sein de cette espèce. Rappelons (Dupy-Blanc & Ngassam, 1983) que les teneurs en ADN micronucléaire des trois populations (Hp, Hm, Xg) sont dans un rapport 1 : 2 : 3, ce qui indiquerait une polyploïdisation des micronoyaux ; les teneurs en ADN macronucléaire étant dans un rapport 1 : 3 : 8. Les populations d'*A. mediovacuolata* présentent généralement un macronoyau en forme de H ; elles diffèrent entre elles non seulement par l'aspect peu ou pas dentelé de leur macronoyau, mais également par le nombre de micronoyaux (un ou deux). En effet, les cellules Mm et Gm1 sont uni-micronucléées alors que les formes Pm sont bi-micronucléées. Les macronoyaux des formes Pm présentent une digitation contrairement à celles des formes Mm, Gm1 et Gm2 non digitées. Il est probable que l'alternance des bandes soit une particularité du macronoyau en forme de H des *A. mediovacuolata* de petite taille, structure inédite de macronoyau traduisant un remaniement chromatinien persistant durant l'interphase et dénué de tout processus sexuel. Ces bandes sombres pourraient représenter des régions de forte concentration de la chromatine. Elles apparaissent dans le macronoyau interphasique d'*A. mediovacuolata* et évoquent les structures des chromosomes polytènes observées lors de l'édification du macronoyau des Hypotriches (Murti & Prescott, 1999). Les différences de structure entre le macronoyau en masse, lors de la division cellulaire, et le macronoyau en bandes en interphase sont l'indice d'une réorganisation de la chromatine avec processus de polyténisation permanent.

### **III.2.2- Coexistence Ciliés-virus-bactéries le long du tube digestif des *Alma***

L'analyse du cytogramme obtenu, conjuguée aux données de la microscopie électronique à transmission (TEM) permet de confirmer l'existence dans le tractus digestif des vers de terre, d'une importante concentration de bactériophages et de bactéries. Le même constat avait été déjà révélé par Brito-Vega & Espinosa-Victoria (2009) qui, travaillant sur les vers *Eisenia fetida* et *Lumbricus rubellus*, ont mis en évidence la présence dans leur tractus digestif d'une importante concentration bactérienne appartenant à plusieurs genres: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Azotobacter*, *Serratia*, *Aeromonas*, *Morganella* et *Enterobacter* (Singleton *et al.*, 2003 ; Valle-Molinas *et al.*, 2007 ; Byzov *et al.*, 2007 ). De plus, certains auteurs (Dash *et al.*, 1986 ; Parthasarathi & Ranganathan, 1998, 2002 ; Wolter & Scheu, 1999 ; Houjian Cai *et al.*, 2002, Parthasarathi *et al.*, 2007 ), travaillant sur les oligochètes *Lampito mauritii*, *Perionyx excavatus*, *Eudrilus eugeniae*, *Lumbricus terrestris* et *Eisenia fetida*, ont montré la cohabitation entre cette mésoflore bactérienne et d'autres microorganismes à savoir : les champignons (*Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus ochraceus*, *Mucor plumbeus*, *Rhizopus*



sp.), les Actinomycètes (*Streptomyces albus*, *Nocardia asteroides*, *Streptomyces albus*, *Streptomyces somaliensis*, *Nocardia asteroides*, *Nocardia caviae*, *Thermophilic actinomycetes, like Saccharomonosporia*) et les protozoaires (*Amoeba proteus*, *A. terricola*, *Paramecium trichium*, *Euglena viridis*, *E. orientalis*, *Vorticella picta*, *Trichomonas hominis*). Les virus du tractus digestif des *Alma* seraient une originalité et permettraient à la régulation de la charge bactérienne. En effet, les virus, parasites obligatoires et dépourvus de machinerie cellulaire sont étroitement dépendants de leurs cellules hôtes (les bactéries). Il semble évident que les bactériophages dominent la communauté bactérienne. Les connaissances sur la diversité des virus du tractus digestif des vers de terre sont encore limitées. Les données écologiques actuelles sur les populations bactériennes en milieu aquatique, indiquent une large variété de stratégie de survie et de niche environnemental.

Sur le plan quantitatif, les variations des concentrations de ces deux groupes d'organismes d'un bout à l'autre du tractus digestif des vers de terre, s'expliqueraient par le fait que les virus s'abritent sous une forme lysogène dans la population bactérienne, forme sous laquelle leur matériel génétique intégré à celui de l'hôte ne s'exprime pas, et peut demeurer ainsi pendant plusieurs générations. D'autre part, les conditions physico-chimiques et biologiques qu'offre chaque portion du tube digestif du ver seraient favorables soit à l'émergence des virus à travers la lyse bactérienne, faisant suite aux phénomènes d'expressions du gène viral (synthèse des protéines virales) puis encapsidation et libération ; soit une production de virus autochtones au sein du système digestif. Ceci permet d'émettre l'hypothèse de la fonction principale des virus au sein de ce système biologique. L'impact des virus sur les bactéries semble donc varier au cours de l'échelle temporelle et spatiale.

Ces données permettent grâce aux progrès réalisés au niveau des techniques d'identification, de dénombrement et de mesure d'activité métabolique, d'entrevoir l'extraordinaire diversité des microorganismes telluriques, l'étendue de leurs conditions de vie et leurs abondances jusqu'alors largement sous-estimées. De plus, l'amélioration sensible des méthodes séparatives a permis de décrire la composition biochimique des communautés et d'aborder les possibilités de transferts de matière au sein des réseaux trophiques sous un angle qualificatif. C'est grâce à ces progrès techniques que les organismes de plus petite taille qui, on le sait aujourd'hui, représentent le plus grand réservoir de diversité, de carbone et de fonctions dans le sol, ont été pris en compte dans divers écosystèmes (Pomeroy, 1974 ; Colombet, 2008). De ce point de vue, l'élaboration du concept de boucle microbienne (Azam et al., 1983) a été structurant pour le développement de l'écologie microbienne aquatique ou de la mésofaune du tube digestif des vers de terre. Cette notion de boucle microbienne s'est récemment enrichie de

la notion de réseau trophique microbien par la prise en compte des microorganismes pico- et nanoplanktoniques autotrophes qui forment l'essentiel des producteurs primaires aquatiques, et sont également des proies indiquées pour les protozoaires (Rassoulzadegan, 1993, Amblard *et al.*, 1998). Si ces concepts bien établis dans le milieu aquatique pouvaient être transposés dans la mésofaune microbienne du tube digestif des vers au regard des résultats obtenus, alors on penserait dans ce microhabitat à une chaîne trophique qui reste à vérifier mais dans laquelle les phages, comme dans les écosystèmes aquatiques, joueraient un rôle régulateur. L'acquisition des bactéries par les Ciliés reste inexplicée. Les bactéries endozoïques non envacuolées sont apparemment libres dans le cytoplasme des Ciliés. Ceci écarte la possibilité d'une entrée par phagocytose soutenant ainsi la théorie endosymbiotique. Le rapport entre Ciliés et bactéries se limiterait à une stratégie de coopération, offrant donc une niche écologique pour les virus.

### **III.2.3- Variables physico-chimiques et microfaune du tractus digestif de *Alma emini***

Dans le tractus digestif de *Alma emini*, le pH croît de l'intestin antérieur vers l'intestin postérieur. Cette évolution croissante du pH serait due à l'activité métabolique. En effet, la terre acide (Fokam, 2005), ingérée par le ver est catabolisée grâce aux enzymes digestives et les déchets métaboliques pourront être alcalin. Simm (1913) ; Krieg (1923) ; Puh (1940) puis de Puytorac & Mauret (1956) travaillant sur les oligochètes *Allolobophora savignyi* et *Lumbricus herculeus* récoltés en milieu acide, ont également observé cette évolution du pH dans le tractus digestif des annélides oligochètes, allant d'un pH acide à l'extrémité antérieure vers l'alcalinité à l'extrémité postérieure. Le pH du milieu extérieur en général, ne semble donc pas avoir une incidence sur cette évolution du pH du tractus digestif. La diminution graduelle de la teneur globale en ions dans le tractus digestif ferait suite à la présence en série, des bactéries désionisantes (Horn *et al.*, 2003). En effet, les travaux de Hyun-jung *et al.* (2004) ; Brito-Vega & Espinosa-Victoria (2009) ont révélé la présence d'une forte communauté bactérienne, très diversifiée, dans le tractus digestif des oligochètes.

La baisse progressive des valeurs de la conductivité électrique que nous avons observée dans le tube digestif de *Alma emini* corrobore les travaux de Maluf (1940) et ceux de Peter *et al.* (2010). Le premier auteur révèle que la concentration maximale des ions (chlorure, sulfate, calcium, potassium et sodium) est obtenue dans l'intestin antérieur du tube digestif des vers. Les seconds auteurs quant à eux prouvent que le tube digestif de *Lumbricus rubellus*, *Aporrectodea caliginosa* et *Lumbricus terrestris* abritait des organismes et autres éléments dénitrifiants.

En ce qui concerne la fluctuation des valeurs de la teneur en substances dissoutes du liquide intestinal dans les différentes portions de *Alma emini*, il y aurait tout d'abord, une concentration, puis assimilation de ces substances; ce qui expliquerait leur chute dans la portion postérieure de l'intestin. Ces résultats confirment l'hypothèse de de Puytorac & Mauret (1956) selon laquelle chez les oligochètes (*Allolobophora savignyi* et *Lumbricus herculeus*) il y aurait assimilation des substances dissoutes de leur liquide digestif.

La baisse progressive de la teneur en eau du contenu digestif des vers de l'intestin antérieur vers l'intestin postérieur pourrait s'expliquer par l'anatomie du ver. En effet, le volume et le contenu du tube digestif diminuent de la portion antérieure vers la portion postérieure de l'intestin. Ce gradient de fluidité avait déjà été rapporté par Maluf (1940) puis de Puytorac & Mauret (1956) chez (*Lumbricus terrestris*, *Allolobophora savignyi*) récoltés dans les gisements divers. Ce paramètre semble influencé par les conditions du milieu environnant (taux d'humidité, porosité du sol) et l'état physiologique du ver ainsi que le rapporte Edwards (1998) ; Lavelle & Spain (2001).

La concentration en ions nitrate chute de l'intestin antérieur vers l'intestin postérieur. Cette diminution graduelle serait liée à la présence, dans le tractus digestif du ver, de bactéries dénitrifiantes et fermentescibles (Wüst *et al.*, 2011). Ce fait avait déjà été rapporté par Peter *et al.* (2010) sur les oligochètes *Lumbricus rubellus*, *Lumbricus terrestris* et *Aporrectodea caliginosa* ; puis par Karsten & Drake (1997), Horn *et al.* (2003, 2006) et Wüst *et al.* (2009, 2011). Ces différents auteurs ont mis en évidence le rôle des bactéries dénitrifiantes dans le tube digestif des oligochètes en général.

Les fortes concentrations ioniques (nitrites, ammoniums et orthophosphates) obtenues dans l'intestin moyen s'expliqueraient par le fait qu'il y aurait tout d'abord, une accumulation des minéraux, puis leur assimilation. Nos résultats corroborent ceux de de Puytorac & Mauret (1956) qui ont travaillé sur les oligochètes (*Allolobophora savignyi* et *Lumbricus herculeus*, à la différence que ces auteurs obtiennent de faibles valeurs. De plus, Maluf en 1940 révélait déjà que la concentration maximale des ions (chlorure, sulfate, calcium, potassium et sodium) était obtenue dans l'intestin moyen du tube digestif des vers *Lumbricus herculeus*.

La variation des différentes concentrations ioniques le long du tube digestif de *A. emini* serait également liée à la fréquence d'utilisation des ions par les Ciliés qui colonisent chaque portion du tube digestif du ver de terre. Les Astomes utiliseraient peu de nitrates, par contre, les Hysteroconetidés en auraient grand besoin. Ces paramètres seraient influencés par les conditions du milieu environnant et l'état physiologique du ver ainsi que le rapporte Lavelle & Spain (2001).

Dans le tube digestif de *A. emini*, les Astomes, dans leur grande majorité prolifèrent dans l'intestin antérieur acide ; riche en éléments minéraux et plus fluide. On remarque d'ailleurs que dans la portion antérieure du tube digestif, la mésofaune ciliée est très mobile et très active alors que dans la portion postérieure peuplée d'Hysteroconetidés et caractérisée par un pH alcalin ; une faible teneur en substances minérales et eau, les Ciliés sont fixés à la paroi intestinale ou font du thigmotactisme ou se déplacent peu. Dans le même ordre d'idée, de Puytorac & Mauret (1956) avaient déjà montré une stratification des Ciliés Astome endocommensaux du tube digestif de *Allolobophora savignyi* liée aux variables physico-chimiques. La cohabitation entre Astomes et Hysteroconetidés dans l'intestin moyen confirme la théorie de « l'association des espèces », caractérisée par une distribution en compartiments distincts. En effet, les espèces qui entrent dans diverses associations, quelles soient écologiques ou trophiques, à divers compartiments, présentent inéluctablement des réactions similaires aux variations des conditions de leur milieu (Pinel-Alloul *et al.*, 1990).

Retenons que la variation d'abondance n'est pas le seul fait des Ciliés du tube digestif des vers de terre. Gohre (1943), a mis en évidence un fait analogue pour les trois espèces de Grégarines du genre *Gregarina*, parasites de la larve de l'insecte *Tenebrio molitor*. Adam (1951), étudiant la répartition des Ciliés dans le gros intestin du cheval, a montré que deux faunes successives peuvent y être reconnues. L'une, avec *Blepharocorys uncinata* et *Cycloposthium bipalmatum*, est caractéristique du cœcum et du colon jusqu'à la courbure pelvienne ; l'autre, avec *Bundleia postciliata* et *Blepharocorys curvigula*, est présente de là jusqu'au rectum.

Dans tous les cas semblables, la stratification des espèces dépendrait évidemment des conditions physico-chimiques et biotiques variées, successivement offerte par le milieu biologique aux infusoires ciliés, en rapport avec les besoins de chacun d'eux. On pourrait se demander si, dans une telle sériation, n'intervient pas, outre le milieu extérieur proprement dit, une compétition entre les différents genres. S'il existe un tel antagonisme dans le cas des ciliés qui font l'objet de cette étude, son importance ne paraît pas considérable, dans les conditions normales. En effet, quand l'une des espèces vient à manquer, la place qu'elle occuperait dans la portion du tube digestif reste généralement libre. Ces observations n'excluent pas la possibilité d'une telle compétition à l'origine du peuplement du tube digestif des vers. S'il en a été ainsi, comme il est probable, la sélection a trié, par la suite, des formes si étroitement adaptées à telle ou telle partie du tube digestif de façon à ce que tout antagonisme entre elles devienne inutile.

Les variables considérées dans nos études semblent ne pas être les seuls facteurs ayant une influence sur l'abondance et la sériation des Ciliés. Tracey (1951), Laverack (1963),

Urbasek (1990), Schmidt *et al.* (2010, 2011) ont montré que les enzymes (cellulase, chitinase et Hydrogenase) faisaient à peu près défaut dans le pharynx, l'œsophage, le jabot et le gésier de nombreux vers, alors qu'elles atteignent leur plus grande concentration dans la partie antérieure de l'intestin. Si les Hysteroconetidés (*Ptychostomum prolixus*, *Ptychostomum commune*, *Ptychostomum macrostomum*, *Ptychostomum elongatum*, *Ptychostomum variabilis*, *Proptychostomum commune*, *Proptychostomum simplex*) semblent donc pouvoir se passer de telles diastases, il est possible que les Astomes (*Almophrya bivacuolata*, *Almophrya mediovacuolata*, *Almophrya laterovacuolata*, *Coelophrya ovales*, *Anoplophrya simplex*) en aient au contraire grand besoin. Un cas semblable a d'ailleurs été prouvé chez les *Diplodinium* et les *Entodinium* de la panse des ruminants. Les premiers ont de la cellulase et de la cellobiase qui leur permet de transformer la cellulose en glucose alors que les seconds en sont dépourvus (Tracey 1951).

Au regard des variations des paramètres physico-chimiques et la variation d'abondance des Ciliés le long du tube digestif des vers de terre, nous pouvons considérer comme Pedersen & Hendriksen (1993) puis Peter *et al.* (2010) que le passage de la terre dans le tractus digestif influencerait non seulement les propriétés physiques et chimiques, mais aussi la biomasse microbienne du sol. Monroy *et al.* (2008) ont d'ailleurs mis en évidence des changements de densité des nématodes, des protozoaires et des coliformes totaux du sol après transit à travers l'intestin des vers de terre épigés. Dans le même ordre d'idée, Brito-Vega & Espinosa-Victoria (2009) ont montré que le passage du sol dans le tube digestif des vers de terre pouvait stimuler ou inhiber la croissance des microorganismes et les bactéries minéralisatrices (Byzov *et al.*, 2007).

#### **III.2.4- Variations temporelles et saisonnières de la charge ciliée du tractus digestif de *Alma emini***

En Afrique subsaharienne, les Ciliés endocommensaux d'annélides oligochètes ont déjà fait l'objet de nombreux travaux. Cependant, la plupart des données disponibles portent sur la taxonomie de ces organismes. Les seuls travaux qui traitent de la dynamique des Ciliés Astomes et Hysteroconetidés sont ceux de Ngassam (1992) et de Fokam (2005). Les tests de comparaison des valeurs moyennes saisonnières réalisés dans nos travaux sont non significatifs. Nous pouvons donc supposer que la variation des conditions biophysiques dues à la saisonnalité n'auraient aucune influence sur la dynamique des Ciliés endocommensaux. Ces résultats corroborent ceux de Ngassam (1992) qui, en examinant chaque mois de l'année les oligochètes du genre *Alma*, dans la perspective de l'étude des variations saisonnières sur

l'incidence de l'infection, n'avait rien révélé de spécial. Les hôtes disséqués ont été constamment infestés toutes les saisons de l'année. Rappelons que ces hôtes vivent en milieu hydromorphe où ils creusent par conséquent des galeries plus ou moins profondes. Selon Jégou *et al.* (2000), la création de galeries pourrait être une réponse des vers de terre à différentes contraintes environnementales telles que la teneur en nourriture et en eau, la température ou le degré d'oxygénation.

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

## CONCLUSION

L'objectif global de ce travail était l'étude de l'endofaune microbienne et la détermination de quelques paramètres physico-chimiques, susceptibles d'influencer sur sa sériation et son abondance le long du tube digestif d'annélides oligochètes, Glossoscolecidae, récoltés dans les localités d'Ebebda et de Nkolbikogo, région du Centre Cameroun.

Sur le plan morphologique, l'examen approfondi de la mésofaune ciliée du tube digestif de *Alma nilotica* et *A. emini* à la lumière des techniques de colorations, a contribué à la description de 20 espèces dont 16 nouvelles. Quatre espèces appartiennent au groupe des Hétérotriches (*Nyctotherus cardiostomatus* ; *N. emini* n. sp. ; *N. renimorphus* n. sp. et *Nyctotheroides filimorphus* n. sp.) ; neuf espèces sont des Hysterocinetidés, appartenant à six genres dont deux nouveaux (*Ptychostomum* : *P. bacteriophilus* ; *Preptychostomum* : *P. ebebdaensis* n. sp. ; *Proptychostomum* : *P. gigas* n. sp. ; *Thurstonia* : *T. emini* n. sp., *T. nilotica* n. sp. ; *Ptychostomoides* : *P. nilotica*, *P. gigas*, *P. minus* et *Proptychostomoides* : *P. camerounensis*) et sept sont des Astomes appartenant à quatre genres (*Almophrya* : *A. laterovacuolata*, *A. bivacuolata* et *A. mediovacuolata* ; *Anoplophrya* : *A. simplex* n. sp. ; *Hoplitophrya* : *H. polymorphus* n. sp ; *Dicontophrya* : *D. minus* n. sp. , *D. elongata* n. sp.). Toutes ces espèces colonisent, chacune, une portion bien définie ou la totalité du tube digestif de leurs hôtes. L'étude des variations morphologiques de l'appareil nucléaire chez les Astomes du genre *Almophrya* révèle que les formes en H et intermédiaires entre H et X du macronoyau, mises en évidence chez *A. bivacuolata*, infirment l'hypothèse de de Puytorac & Dragesco (1968) selon laquelle le macronoyau d'*A. bivacuolata* prend toujours l'aspect d'un X. Chez *A. bivacuolata*, les cellules Xg diffèrent de Hp et Hm non seulement par la taille du macronoyau (à peu près le double de celle des Hp) et sa forme en X, mais aussi par l'existence de deux micronoyaux. Les communautés d'*A. mediovacuolata* présentent généralement un macronoyau en forme de H. Elles diffèrent entre elles non seulement par l'aspect peu ou pas dentelé de leur macronoyau, mais également par le nombre de micronoyaux (un ou deux).

La technique de la cytométrie en flux a permis la mise en évidence, d'une communauté jusqu'alors insoupçonnée des virus dans le tractus digestif des oligochètes Glossoscolecidae ainsi qu'une communauté non moins importante des bactéries. Cette coexistence ciliés-bactéries-virus apporte une explication à l'une de nos nombreuses interrogations: les virus seraient, par l'alternance de leur cycle lysogène et lytique, essentiels dans la régulation de la diversité et de l'écologie des communautés bactériennes et dans les



flux de matière et d'énergie qui circulent dans le sol. Par ailleurs, l'observation fréquente des bactéries endozoïques non envacuolées dans l'endoplasme des Ciliés endocommensaux indiquerait qu'elles auraient un rôle fonctionnel, trophique. Les virus seraient ainsi impliqués dans le réseau trophique d'un écosystème terricole, le tractus digestif d'oligochètes terricoles.

Des renseignements dans la connaissance des paramètres physico-chimiques et la composition minérale du liquide digestif des oligochètes du Cameroun sont obtenus. Le pH de ce liquide intestinal croît de l'intestin antérieur vers l'intestin postérieur, passant de l'acidité à la basicité. Par contre, les paramètres tels que la teneur en eau et la conductivité électrique décroissent de l'intestin antérieur vers l'intestin postérieur. On note dans l'intestin antérieur une forte abondance des Ciliés Astomes et une absence des Ciliés Hysterocinetidés. Le tractus digestif de *A. emini* en particulier et celui des oligochètes en générale, apparaît alors comme un ensemble de biotopes, de microhabitat, dans chacun desquels un grand nombre de facteurs physiques et chimiques complexes créent certaines conditions écologiques plus particulièrement favorables à telle ou telle espèce ou groupe d'espèces données. La recherche des principaux facteurs déterminant la répartition des Ciliés dans l'intestin d'un ver, se heurte à de grandes difficultés. En effet, elle devrait être faite, en principe, par les deux méthodes simultanées de culture *in vitro* et d'observation des organismes dans leurs conditions naturelles d'existence. Les différents facteurs physico-chimiques du milieu n'ont pas tous une importance égale. L'importance de chacun d'eux dépend de l'organisme ou du groupe d'organismes considérés. Elle est fonction de la sensibilité plus ou moins grande que cet organisme manifeste à l'amplitude des variations que subissent ces facteurs. Dans le cas des Ciliés endocommensaux de *A. emini*, chaque paramètre a certainement une action essentielle et primordiale. La plus grande concentration des individus de chacune des espèces se tient en effet au niveau des valeurs extrêmes ; exception faite chez quelques espèces dites tolérantes, regroupées dans une zone tampon. Chacune de ces espèces est en effet probablement plus sensible à la qualité ainsi qu'à la quantité globale des produits présents dans leur biotope.

Au regard des variations des paramètres physico-chimiques, de l'abondance des Ciliés, procaryotes et eucaryotes le long du tube digestif des vers de terre, nous pouvons considérer, comme d'autres auteurs, que le passage de la terre dans le tractus digestif influence non seulement les propriétés physiques et chimiques, mais aussi la biomasse microbienne du sol.

## PERSPECTIVES

Si nos travaux apportent d'une part des renseignements complémentaires dans la connaissance de la mésofaune microbienne des annélides oligochètes du genre *Alma*, et d'autre part des résultats sur les conditions de vie des Ciliés du tube digestif de ces vers de terre, il n'en demeure pas moins que ce mémoire ne constitue qu'une étape dans cet axe de la recherche. Dans nos travaux à venir, nous nous proposons de :

- séquencer le génome des espèces nouvelles, dans le but de compléter l'arbre phylogénique des différents groupes de Cilié endocommensaux d'annélides oligochètes ;

- réaliser la culture des Ciliés *in vitro* afin d'observer ces organismes hors de leur milieu naturelle d'existence. Dans ce cas, considérer la prédation, la pression osmotique, la présence de certains gaz et de certaines substances trophiques, la nécessité de certains facteurs de croissances, de certaines enzymes ;

- fragmenter le tube digestif de *A. emini* en de très courtes portions afin de suivre de près, les variations des différents paramètres le long du tube digestif ;

- étudier les paramètres du sol avant et après son passage à travers le tractus digestif de *A. emini*, ce qui nous permettra de confirmer le rôle des microorganismes qui peuplent le tube digestif dans le sol ;

- étendre notre étude sur les oligochètes récoltés dans d'autres régions du Cameroun.

# **BIBLIOGRAPHIE**

**Adam K. M. G.** (1951). The quality and distribution of the ciliate protozoa in the large intestine of the horse. *Parasitology*, 41, 3-4, 301 p.

**Aketmatsu T & Endoh H.** (2010). Role of apoptosis-inducing factor in programmed nuclear death during conjugation in *Tetrahymena thermophila*. *BMC cell Biology*, 1: 11-13.

**Albaret J. L.** (1975). Etude systématique et cytologique sur les Ciliés Hétérotriches endocommensaux. *Mémoire du Muséum National d'Histoire Naturelle*, série A, Zoologie. Tome LXXXIX, 89 p.

**Albaret J. L. & Njiné T.** (1975). Description de cinq espèces nouvelles de Ciliés hétérotriches des genres *Metanyctotherus* Albaret, *Pronyctotherus* n. gen. *Plagiotoma* Dujardin, endocommensaux d'oligochètes du Cameroun. *Protistologica*. 11 (3): 305-311.

**Amaro A.** (1972). Revisao sistematica da familia Plagiotomidae Butschli, 1887 (Ciliata, Heterotrichida). *Atas da Sociedade de Biologia do Rio de Janeiro*, 15 (2): 83-85.

**Amblard C., Boisson J. C., Bourdier G., Fontvieille D., Gayte X. & Sime-Ngando T.** (1998). Microbial ecology in aquatic systems: a review from viruses to protozoa. *Revue des Sciences de l'Eau*, pp 145-162.

**Azam F., Fenchel T., Field J. G., Gray J. S., Meyer-Reil L. A. & Thingstad F.** (1983). The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress*, 10: 257-263.

**Bachelier G.** (1978). La faune des sols, son écologie et son action. ORSTOM, Paris, IDT N°38. 1-39.

**Beauchamp De P.** (1965). Classe des Rotifères In: P. P. Grassé éd., *Traité de zoologie*. IV (2), Paris IV, 1225-1379.

**Beaumont A. & Cassier P.** (1998a). Biologie et Physiologie Animales. Cours et question de révision. *Dunot*. 72 p.

**Beaumont A. & Cassier P.** (1998b). Travaux Pratiques de Biologie Animale. *Zoologie Embryologie Histologie*, pp 172-174.

**Bick H.** (1973). Population dynamics of protozoa associated with the decay of organic material in fresh water, *American Zoology*, 13: 149-160.

**Blouin M., Zuily-Fodil Y., Pham-Thi A. T., Laffray D., Reversat G., Pando A., Tondoh G. & Lavelle P.** (2005). Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. *Ecology Letters*, 8: 202-208.

**Bockstaller C., Galan M. B., Capitaine M., Colomb B., Mousset J. & Viaux P.** (2008). Comment évaluer la durabilité des systèmes en production végétale? *Systèmes de culture innovants et durables*. Paris, 29-51.

**Boström U. & Lofs-Holmin A.** (1996). Annual population dynamics of earthworms and cocoon production by *Aporrectodea caliginosa* in a meadow fescue ley. *Pedobiologica*, 40: 32-42.

**Bouché M. B.** (1972). Lombriciens de France: Ecologie et Systématique. INRA *Annales de Zoologie Ecologie Animale*, France, 671 p.

**Bouché M. B.** (1977). Stratégies lombriciennes. In: Lohm, U. et Persson, T. (eds), Soil organism as components of ecosystems. *Biological Bulletin*, (Stockolm), 122-132.

**Brinkhurst R. O. & Jamieson B. G. M.** (1971). Aquatic Oligochaeta of the world. Oliver and Boyd, *Edinburgh*. 860 p.

**Brito-Vega H. & Espinosa-Victoria D.** (2009). Bacterial diversity in the digestive tract of earthworms (Oligochaeta), *Journal of Biological Sciences*. 9(3): 192-199.

**Brookes D., Bate J., Jones H. & Shah P.** (1995). Invertebrate and weed seed food-sources for birds in organic and conventional farming systems. Part IV. The effect of organic farming on breeding and wintering bird populations. *British Trust for Ornithology Report*, 154: 191-196.

**Bütschli O.** (1887-1889). Protozoa. Abt. III. Infusoria und System der Radiolaria. In H. G. Bronn (Ed.), *Klassen und Ordnung des Thiers-Reichs*. Leipzig: C. F. Winter, 1: 1098-2035.

**Butt K. R.** (1991). The effects of temperature on the intensive production of *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta: Lumbricidae). *Pedobiologica*, 35: 257-264.

**Butt K. R.** (1993). Reproduction and growth of three deep-burrowing earthworms (Lumbricidae) in laboratory culture in order to assess production for soil restoration. *Biology and Fertility of Soils*, 16: 135-138.

**Byzov B. A., Khomyakov N. V., Kharin S. A. & Kurakov A. V.** (2007). Fate of soil bacteria and fungi in the gut of earthworms. *European Journal of Soil Biology*, 43: 146-156.

**Cairns J. Jr.** (1978). Zooperiphyton (especially protozoa) as indicator of water quality. *Transactions of the American Microscopical Society*, 97: 44-49.

**Canella M. F. & Rocchi-Canella I.** (1964). Morfo-fisiologia e morfogenesi dell'apparato orale di *Ophryoglena* (Ciliata, Holotricha, Hymenostomatida). *Annali dell'Università di Ferrara (Nuova Serie., Sect. III)*, 2 : 189-292.

**Carini A.** (1938). Sobre um *Nyctotherus* do intestino de um grillo-talpideo. *Arquivos do Instituto Biológico*, 22 (210), 209 p.

**Carini A.** (1939). Sobre um *Nyctotherus* de cloaca de uma *Amphisbaena*. *Ibid.*, 23 (217), 146 p.

**Cépède C.** (1910). Recherches sur les Infusoires Astomes. Anatomie, biologie, éthologie parasitaire, systématique *Archive de Zoologie expérimentale et générale* 5<sup>e</sup> serie, 3: 341-609.

**Chatton E. & Lwoff A.** (1939). Sur la systématique de la tribu des thigmotriches rhynchoïdes. Les deux familles des Hypocomidae Butschli et des Ancistrocomidae n. fam. Les deux genres nouveaux, *Heterocoma* et *Parahypocoma*. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 209 : 429-431.

**Clementi A.** (1924). Arginase II, distribution of arginase in the organism and in the class. *London B.* 97: 224 p.

**Cluzeau D., Blanchart E., Peres G., Ablain F., Cuendet G., Fayolle L. & Lavelle P.** (2005). Faune du sol et Lombriciens dans les sols tempérés agricoles. In: Girard, M.-C., Walter, C., Rémy, J.-C., Berthelin, J. et Morel, J.-L. (eds), *Sols et environnement 2e cycle*. Cours, exercices et études de cas. Paris, 386-407.

**Colombet J.** (2008). Importance de la variabilité verticale dans un lac méromictique profond: diversité et activité lysogène des communautés virales. *Thèse de Doctorat Ph.D.*, Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand, France, 204 p.

**Cooley N., Kelner J. & Forester J.** (1972). Mirex and Arochlor 1254. Effect on accumulation of *Tetrahymena pyriformis* strain. *Journal of Protozoology* 19: 636-638.

**Corliss J. O.** (1956). On the evolution and systematic of ciliated protozoa. *Systematic Zoology*, 5: 68-140.

**Corliss J. O.** (1972). The ciliate protozoa and other organisms: some unresolved questions of major phylogenetic significance. *American Zoology*, 12: 739-753.

**Corliss J. O.** (1974). The changing world of ciliates systematic: Historical analysis of past efforts and a newly proposed phylogenetic scheme of classification for the protistan phylum Ciliophora. *Systematic Zoology*, 23: 91-138.

**Daniel O., Kohli L. & Bieri M.** (1996). Weight gain and weight loss of the earthworm *Lumbricus terrestris* L. at different temperatures and body weights. *Soil Biology & Biochemistry*, 28: 1235-1240.

**Darwin C.** (1881). The formation of vegetable mould through the action of worms with observations on their habits. *Murray*, London, 298 p.

**Dash H., Beura B. N. & Dash M. C.** (1986). Gut load transit time, gut microflora and turnover of soil, plant and fungal material by some tropical earthworms. *Pedobiologica*, 29: 13-20.

**Deroux G.** (1976). Le plan cortical des Cyrtophoridae d'expression et marges de variabilité. II. Cyrtophorida à thigmotactisme ventral généralisé. *Protistologica*, 12: 483-500.

**Deroux G.** (1978). The hypostome ciliate order Synhymeniida: From *Chilodontopsis* of Blochmann to *Nassulopsis* of Faure-Fremiet. *Transactions of the American Microscopical Society*, 97: 458-469.

**Diesing K. M.** (1866). Revision der Prothelminthen. Abteilung: Amasteigen. *Sitz.-ber. K. Acad. Wiss., Wien*. 52: 505-579.

**Doohan M.** (1975). Rotifera. In: Curds C. R. & Hawkers H. A. Eds., Ecological aspect of used-water treatment. I. The organism and their Ecology, *Acad. Pub*, pp 289-304.

**Dupy Blanc J. & Ngassam P.** (1983). Observation sur les teneurs en ADN nucléaire de populations de Ciliés Astomes du genre *Almophrya* parasitant le même hôte. *Protistologica*, 19: 385-392.

**Earl P. R.** (1972). Synopsis of the Plagiotomoidea. New superfamily. *Acta Protozoologica*, 9 (15): 247-261.

**Elliott A. M.** (1973). Life cycle and distribution of *Tetrahymena*. In A. M. Elliott (Ed.), *Biology of Tetrahymena*. Stroudsburg, PA: Dowden, Hutchinson & Ross., pp 259-286.

**Edwards C. A. & Bohlen P. J.** (1996). *Biology and Ecology of Earthworms* 3rd ed. Chapman and Hall, London, 426 p.

**Edwards C. A., Bohlen P. J., Linden D. R. & Subler S.** (1995). Earthworms in agroecosystems. In: Hendrix, P. F. (eds), *Earthworm ecology and biogeography in North America*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp 185-213.

**Evans A. C. & Guild W. J. M. L.** (1948). Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. V. Field populations. *Annual Applied Biology*, 35: 485-493.

**Fenchel T.** (1987). *Ecology of protozoa* Berlin Springer. 197 p

**Fernandez-Galiano D.** (1979). Transfer of the widely known "spirotrich" ciliate *Bursaria truncatella* O.F.M. to the Vestibulifera as a separate order there, the Bursariomorphida. *Transactions of the American Microscopical Society*, 98: 447-454.

**Fernandez-Galiano D.** (1966). Une nouvelle méthode pour la mise en évidence de l'infuciliature des Ciliés. *Protistologica*. 2: 35-38.

**Fernandez-Galiano D.** (1994). The ammoniacal silver carbonate method as a general procedure in the study of protozoa from sewage (and other) waters. *Water Research*, 28 : 495-496.

**Foissner W.** (1978). Das Silberliniensystem und die Infraciliatur der Gattungen *Platyophrya* Kahl, 1926, *Cyrtolophosis* Stokes, 1885 und *Colpoda* O.F.M., 1786: Ein Beitrag zur Systematik der Colpodida (Ciliata, Vestibulifera). *Acta Protozoologica*, 17 : 215-231.

**Foissner W.** (1985). Klassifikation und Phylogenie der Colpodea (Protozoa: Ciliophora). *Archiv für Protistenkunde*, 129: 239-290.

**Foissner W.** (1988). Taxonomie and nomenclatural revision of Sladeczek's list of Ciliates (Protozoa: Ciliophora) as indicators of water quality. *Hydrobiology*, 166: 1-64.

**Foissner W. & Foissner I.** (1988). The fine structure of *Fuscheria terricola* Berger *et al.*, 1983 and a proposed new classification of the subclass Haptoria Corliss, 1974 (Ciliophora, Litostomatea). *Archiv für Protistenkunde*, 135: 213-235.

**Fokam Z.** (2005). Biodiversité des Ciliés Astomes, endocommensaux d'oligochètes terricoles de la région de Yaoundé. *Thèse de Doctorat 3<sup>e</sup> cycle*, Université de Yaoundé, Cameroun, 205 p.

**Fokam Z., Ngassam P., Boutin Cl. & Zébazé Togouet S. H.** (2008). Trois espèces nouvelles de *Coelophrya*, Ciliés Astomes endocommensaux d'*Alma nilotica* (Oligochète terricole) du Cameroun. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 144: 27-33.

**Fokam Z., Ngassam P., Strüder-Kypke M. C. & Lynn D. H.** (2011). Genetic diversity and phylogenetic position of the subclass Astomatia (Ciliophora) based on a sampling of six genera from West African oligochaetes (Glossoscolecidae, Megascolecidae), including description of the new genus *Paraclausilocola* n. gen. *European Journal of Protistology*, 47: 161-171.

**Fokam Z., Ngassam P., Nana P. A., Bricheux G., Bouchard P. & Sime Ngando T.** (2012). Révision de la Sous-Famille des Metaracoelophryinae de Puytorac, 1972 (Oligohymenophora: Hoplytophryida: Hoplytophryidae), Ciliés Astomes du tube digestif d'Oligochètes terricoles d'Afrique: Description de cinq espèces nouvelles. *Parasite*, 19: 41-56.

**Foto Menbohan S.** (1989). Etude de la qualité de la pollution de deux cours d'eau à Yaoundé : l'Abiergué et le Mfoundi : étude physico-chimique et biologique. *Thèse de Doctorat 3<sup>e</sup> cycle*, Université de Yaoundé, Cameroun, 142 p.

**Foto Menbohan S. & Njiné T.** (1998). Distribution et dynamique des populations des ciliés dans deux cours d'eaux urbains : l'Abiergue et le Mfoundi à Yaoundé. *Annale Faculté des Sciences, Série Science Naturelle et Vie*, 34: 269-279.

**Frederico L.** (1878). La digestion des matières albuminoïdes chez quelques Invertébrés. *Archives de zoologie expérimentale et générale*, 7: 389 p.



**Frontier S. & Pichod-Viale D.** (1991). Ecosystème, structure-fonctionnement évolution. *Masson*, 101 : 343 – 344.

**Frontier S., Davoult D., Gentilhomme V. & Lagadeuc Y.** (2001). Statistique pour les Sciences de la Vie et de l'Environnement. *Dunod*. Paris. 377 p.

**Fryd-Versavel G., Lemullois M. & Aubusson-Fleury A.** (2010). Maintaining cell polarity through vegetative cell pattern dedifferentiation: cytoskeleton and morphogenesis in the hypotrich ciliate *Sterkiella histriomuscorum*. *Protist*, 161: 222-236.

**Gall J. G.** (1986). The molecular biology of ciliated protozoa. *New York Academic Press*. 352 p.

**Gasol J. M., Zweifel U. L., Peters F., Fuhrman J. A. & Hagström A.** (1999). Significance of size and nucleic acid content heterogeneity as measured by flow cytometry in natural planktonic bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 65: 4475-4483.

**Gerard B. M.** (1967). Factors affecting earthworms in pastures. *Journal of Animal Ecology*, 36: 235-252.

**Gerassimova Z. P. & Seravin L. N.** (1976). Ectoplasmic fibrillar system of Infusoria and its role for the understanding of their phylogeny. *Zoologicheskyy Zhurnal*, 55: 645-656.

**Gobat J. M., Aragno M. & Matthey W.** (2003). The living soil: basic pedology – soil biology (2<sup>nd</sup> edition). Chapman and Hall, London, 569 p.

**Gohre E.** (1943). Untersuchungen über den plasmatischen Feinbau der Gregarinen mit besonderer Berücksichtigung der Sexualitätsverhältnisse. *Archiv für Protistenkunde*, 96: 295 p.

**Gordeeva A. V., Labas Y. A. & Zvyagilskaya R. A.** (2004). Apoptosis in unicellular organisms: Mechanisms and evolution. *Biochemistry-Moscow*, 69: 1055-1066.

**Grain J., Peck R. K., Didier P. & Rodrigues de Santa Rosa M.** (1976). Importance de la microscopie électronique dans les études de systématique chez les unicellulaires; un exemple: les ciliés du genre *Cyclogramma*. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 282 : 735-738.

**Gutiérrez J., Diaz. S., Ortega R. & Martin-Gonzales A.** (2003). Ciliate resting cyst walls: a comparative review. *Recent Research Developments in Microbiology*, 7: 361-379.

**Ha Ky** (1971). New ciliate from the intestine of fresh water fishes of Northern Vietnam. *Acta Protozoology*, 8 (21): 261-282.

**Hartenstein H., Neuhauser E. F. & Kaplan D. L.** (1979). Reproductive potential of the earthworm *Eisenia fetida*. *Acta Oecologica-international Journal of Ecology*, 43: 329-340.

**Heran H.** (1954). Die Wassers toffionenkonzentration im Darm von *Lumbricus terrestris*. *Journal of Comparative Physiology*, 36: 55–65.

**Holmstrup M., Ostergaard I. K., Nielsen A. & Hansen B. T.** (1996). Note on the incubation of earthworm cocoons at three temperatures. *Pedobiologica*, 40: 477-478.

**Horn M. A., A. Schramm & H. L. Drake** (2003). The earthworm gut: An ideal habitat for ingested N<sub>2</sub>O-producing microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*, 69: 1662-1669.

**Horn M. A., Mertel R., Kastner M., Gehre M. & Drake H. L.** (2006). In vivo emission of dinitrogen by earthworms via denitrifying bacteria in the gut. *Applied and Environmental Microbiology*, 72: 1013-1018.

**Houjian Cai, B. Zarda, G. R. Mattison, F. Schönholzer & D. Hahn.** (2002). Fate of Protozoa transiting the digestive tract of the earthworm *Lumbricus terrestris* L. *Pedobiologica* 46: 161-175.

**Hyun-Jung K., Kwang-Hee S., Chang-Jun C. H. & Hor-Gil H.** (2004). Analysis of aerobic and culturable bacterial community structure in earthworm (*Eisenia fetida*) intestine. *gricultural Chemistry & Biotechnology*, 47: 137-142.

**Jahn C. L. & Klobutcher L. A.** (2002). Genome remodeling in ciliated protozoa. *Annual Review of Microbiology*, 56: 489-520.

**Jankowski A. W.** (1964). Morphology and evolution of Ciliophora. III. Diagnoses and phylogenesis of 53 sapropelebiotes, mainly of the order Heterotrichida. *Archiv für Protistenkunde*, 107: 185-294.

**Jankowski A. W.** (1967). A new system of ciliate Protozoa (Ciliophora). *Akademii Nauk SSSR, Trudy Zoologicheskogo Instituta*, 43: 3-54.

**Jankowski, A. W.** (1972). Commensological sketches 3 New genera of Chonotricha Exogemmina symbiotic with Isopoda, Amphipoda and Decapoda. *Zoologicheskyy Zhurnal*, 51: 1617-1624.

**Jankowski A. W.** (1973). Taxonomic revision of subphylum Ciliophora Doflein, 1901. *Zoologicheskyy Zhurnal*, 52: 165-175.

**Jankowski A. W.** (1975). A conspectus of the new system of subphylum Ciliophora Doflein, 1901 [Abstract]. In U. S. Balashov (Ed.), *Account of scientific sessions on results of scientific work, Year 1974: Abstracts of reports*, pp 26-27.

**Jankowski A. W.** (1980). Conspectus of a new system of the phylum Ciliophora. *Trudy Zoologicheskogo Instituta Leningrad*, 94: 103-121.

**Jégou D., Cluzeau D., Hallaire V., Balesdent J. & Trehen P.** (2000). Burrowing activity of the earthworms *Lumbricus terrestris* and *Aporrectodea giardi* and consequences on transfers in soil. *European Journal of Soil Biology*, 36: 27–34.

**Johnson G. D., Davidson R. S., Mc Namee K. C., Russell G., Goodwin D. & Holborow E. J.** (1982). Fading of immunofluorescence during microscopy: a study of the phenomenon and its remedy. *Journal of Immunological Methods*, 55 (2): 231-242.

**Kaczanowski A.** (1961). *Helella rhizodrili* gen. n. sp. n. (Ciliata - Astomata). *Acta Parasit Polon*, 9: 247-256.

**Kahl A.** (1930-35). Urtiere oder Protozoa. I: Wimpertiere oder Ciliata (Infusoria), eine Bearbeitung der freilebenden und ectocommensalen Infusorien der Erde, unter Ausschluss der marinen Tintinnidae. In F. Dahl (Ed.), *Die Tierwelt Deutschlands*, 18: 1-886.

**Karsten G. R. & Drake H. L.** (1997). Denitrifying bacteria in the earthworm gastrointestinal tract and in vivo emission of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) by earthworms. *Applied and Environmental Microbiology*, 63: 1878-1882.

**Kent E. B.** (1981). Life history responses to resource variation in a sessile predator, the ciliate protozoan *Tokophrya lemnae* Stein. *Ecology*, 62: 296-302.

**Kidder G. W.** (1938). Nuclear reorganization without cell division in *Paraclevelandia simplex* (family Clevelandellidae), endocommensal ciliate of the wood-feeding roach *Panesthia*. *Arch. F. Protist.*, 81: 69-77.

**Kijenski G.** (1925). Ciliates in the intestinal cavity of *Oligochaeta* from the surroundings of Prague. *Vestnek. Kral. Cesk. Slp. Nauk, Tuda mat.period*, 75: 1-32.

**Klimowicz R.** (1962). Rotifers of the small water bodies of Cairo botanical garden. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 10: 241-270.

**Kofoed C. A. & Campbell A. S.** (1929). A conspectus of the marine and freshwater Ciliata belonging to the suborder Tintinninea, with descriptions of new species principally from the Agassiz expedition to the eastern tropical Pacific, 1904-1905. *University of California Publications in Zoology*, 34: 1-403.

**Kozloff E.** (1960). Morphological Studies in holotrichous ciliates of the family *Hysteroecinetidae*. I. *Hysteroecineta eiseniae* Beers and *Ptychostomum campelomae* sp. nov. *Journal of Protozoology*, 12 (3): 335-339.

**Kozloff E.** (1965). Morphological studies on holotrichous ciliates of the family *Hysteroecinetidae*. II. *Craticuloscutea escobari* gen. nov. sp. nov. and *Epicharocotyle kyburgi* gen. nov. sp. nov. *Journal of Protozoology*, 12 (3): 335-339.

**Krieg H.** (1923). Die Ernährung des Regenwurms. *Auszug aus der Diss.*, Bonn, 1922.

**Lakhani K. H. & Satchell J. E.** (1970). Production by *Lumbricus terrestris* (L.). *Journal of Animal Ecology*, 39: 473-492.

**Lavelle P. & Spain A. V.** (2001). Soil Ecology. *Kluwer Scientific Publications*, 654 p.

**Lavelle P., Barois I., Blanchart E., Brown G., Brussaard L., Decaëns T., Fragoso C., Jimenez J. J., Ka Kajondo K., De Los Angeles, Martinez M., Moreno A., Pashanasi B., Senapati B. & Villenave C.** (1998). Les vers de terre, une ressource dans les agrosystèmes tropicaux. *Nature et Ressources*, 34: 26-41.

**Laverack M. S.** (1963). The physiology of earthworms. In International Series *Monograph on Pure and Applied Biology*, 18-23.

**Lebaron P., Servais P., Agogué H., Courties C. & Joux F.** (2001). Does the high nucleic acid content of individual bacterial cells allow us to discriminate between active cells and inactive cells in aquatic systems? *Applied and Environmental Microbiology*, 67: 1775-1782.

**Lebaron P., Servais P., Baudoux A. C., Bourrain M., Courties C. & Parthuisot N.** (2002). Variations of bacterial-specific activity with cell size and nucleic acid content assessed by flow cytometry. *Aquatic Microbial Ecology*, 28: 131-140.

**Lee K. E.** (1985). Earthworms: their ecology and relationship with soils and land use. New York, 411 p.

**Leidy J.** (1849). New genera of entozoa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 4: 233 p.

**Leidy J.** (1850). Two new species of Infusorial Entozoa. *Ibid.*, 5: 100 p.

**Lougheed V. L. & Chow-Fraser P.** (1998). Factors that regulate the zooplankton communities structure of a turbid, hypereutrophic great lakes wetland. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55: 134-179.

**Lowe C. N. & Butt K. R.** (2002). Growth of hatchling earthworms in the presence of adults: interactions in laboratory culture. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 204-209.

**Lynn D. H.** (2003). Morphology or molecules: How do we identify the major lineages of ciliates (Phylum Ciliophora)? *European Journal of Protistology*, 39: 356-364.

**Lynn D. H. & Corliss J. O.** (1991). Ciliophora in microscopic Anatomy of invertebrate. *Protozoology*, 1: 333-467.

**Maluf N. S. R.** (1939). The volume and osmo-regulative functions of the alimentary tract of the earthworm (*Lumbricus terrestris*) and on the absorption of chloride from freshwater by this animal. *Zoologische Jahrbücher. Abteilung für allgemeine Zoologie und Physiologie*, 59: 535 p.

**Maluf N. S. R.** (1940). Osmo and volume regulation in the earthworm with special reference to the alimentary tract. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 16: 175 p.

**Margulis L., Corlis J. O. Melkonian M. & Chapman D. J.** (1990). *Handbook of Protoctista*. Jones and Bartlett Publishers, Boston. pp 498-523.

**Marie D., Partensky F., Jacquet S. & Vaultot D.** (1997). Enumeration and cell cycle analysis of natural populations of marine picoplankton by flow cytometry using the nucleic acid stain SYBR Green I. *Applied and Environmental Microbiology*, 63: 186-193.

**Martin S.** (1990). Modélisation de la dynamique et du rôle d'une population de vers de terre *Millsonia anomala* dans les savanes humides de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Paris VI, 206 p.

**Meier M.** (1954). Parasitische Ciliaten bei Oligochaeten. *Archiv für Protistenkunde*, 100: 212-245.

**Millenium Ecosystem Assessment.** (2005). Ecosystems and human well-being, Synthesis, Disponible sur <http://millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf> 155 p.

**Monroy F., Aira M. & Dominguez J.** (2008). Changes in density of nematodes, protozoa and total coliforms after transit through the gut of four epigeic earthworms (Oligochaeta), *Applied Soil Ecology*, 39: 127-132.

**Moonen A. C. & Bàrberi, P.** (2008). Functional biodiversity: An agroecosystem approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 127: 7-21.

**Morin N. & Baatout S.** (2008). La Cytométrie en Flux appliquée à la Microbiologie. Cours de Cytométrie, 284 p.

**Murti K. G. & Prescott D. M.** (1999). Telomeres of polytene chromosomes in a ciliated protozoan terminate in duplex DNA loops. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 96(25): 14436-14439.

**Nana P. A., Fokam Z., Ntougwa Ebage G. M., Ngassam P., Bricheux G., Bouchard P. & Sime-Ngando T.** (2012). Description of five new species of hysterozoan ciliates (Ciliophora, Hysterozoanidae), endocommensal in a terrestrial oligochaete of the genus *Alma* from Cameroon. *Protistology* 7 (2): 97-107.

**Nanney D. L.** (1980). Experimental ciliatology. New York: *John Wiley and Sons*, 304 p.

**Ngassam P.** (1980). Contribution à l'étude des Ciliés Astomes et des Ciliés Hétérotriches endocommensaux d'Oligochètes terricoles de la région de Yaoundé. *Mémoire de Master's degree*. Université de Yaoundé, Cameroun, 83 p.

**Ngassam P.** (1983a). Description de quatre espèces nouvelles de Ciliés Hétérotriches des genres *Nyctotherus* Leidy et *Paranyctotherus* Nov. Gen. Endocommenseaux d'un oligochète terricole au Cameroun. *Protistologica*, 19 (2): 167-175.

**Ngassam P.** (1983b). Trois espèces nouvelles de Ciliés Astomes des genres : *Almophrya* de Puytorac et Dragesco, 1968, *Maupasella* Cépède, 1910, *Njinella* nov. genre, endocommensaux d'annélides Oligochètes de la région de Yaoundé. *Potistologica*, 19 (1): 131-135.

**Ngassam P.** (1992). Contribution à la connaissance des Ciliés Hysterocinétiens du Cameroun, *Thèse de Doctorat d'Etat*, Université de Yaoundé I, 108 p.

**Ngassam P. & Grain J.** (1997). Six espèces nouvelles d'Hysterocinetidés appartenant aux deux genres nouveaux *Metapytychostomum* et *Proptychostomum*, Ciliés endocommensaux d'un Oligochète terricole du Cameroun *Annales des Sciences naturelles et de Zoologie*, Paris, 13<sup>e</sup> série, 18: 41-49.

**Ngassam P. & Grain J.** (1998). Ciliés Hysterocinetidae des genres *Amietia* et *Thurstonia*: description de 4 espèces, dont 3 nouvelles, endocommensales de l'Oligochète *Alma nilotica*. *Annales des Sciences naturelles et de Zoologie*, Paris, 13<sup>e</sup> série, 19 (2): 73-79.

**Ngassam P. & Grain J.** (2000). Ciliés Hysterocinetidae des genres *Amietia* et *Thurstonia* : description de quatre espèces dont trois nouvelles, endocommensales de l'Oligochète *Alma nilotica*. *Annales des Sciences naturelles et de Zoologie*, Paris, 13<sup>e</sup> Série. 19 (2): 73-79.

**Ngassam P., Grain J. & Njiné T.** (1993). Contribution à l'étude des Ciliés Hysterocinetidae : le genre *Preptychostomum* de Puytorac, 1993. *Annales des Sciences naturelles et de Zoologie*, Paris, 13<sup>e</sup> série, 14: 127-135.

**Ngassam P., Puytorac P. de & Grain J.** (1994). On *Parapytychostomum almae* n.g., n. sp., a commensal Ciliate from the digestive tract of Oligochaetes of the Cameroons, in a new subclass Hysterocinetia. *Journal of Euaryotic Microbial*, 41: 155-162.

**Ngassam P., Grain J. & Njiné T.** (1997). A morphological and ultrastructural study of *Kozloffia catenula* de Puytorac, 1968 (Ciliophora, Hysterocinetidae), *European Journal of Protistology*, 33: 110-116.

**Ngassam P., Fokam Z., Gangoué P. J. & Motchebe N. G. M.** (1998). Complément à la connaissance de deux ciliés Astomes endocommensaux d'Oligochètes terricoles de la région de Yaoundé. *Cam. Jour. Biol. Bioch.e Sc.* 8 (1): 17-30.

**Nilson J. R.** (1979). Phagotrophy in *Tetrahymena*. In: Levandowssky M & S. H. Hutner (eds), *Biochemistry and physiology of protozoa*. *New York Academic Press*, 2 (2): 339-379.

**Njiné T. & Ngassam P.** (1993). Morphogenèse de bipartition de deux espèces de Ciliés Hysterocinetidae du genre *Ptychostomum* Stein, 1890, endocommensaux d'Oligochètes Glossoscolecidae. *European Journal of Protistology*, 29: 396-406.

**Nola M., Njiné T., Foto Menbohan S., Kemka N., Zébazé Togouet S. H., Nguedji J. B. T. & Bouetou T. B.** (2003). Utilisation des protozoaires ciliés (*Paramecium africanum*, *Colpidium uncinata*, *Neobursaridium gigas*) pour l'épuration bactériologique des eaux polluées en microcosme. *Tropiculture*. 21:73-78.

**Omodeo P.** (1958). Oligochètes, *In*: La réserve naturelle intégrale du Mont Nimba. *Mémoires de l'Institut Français d'Afrique Noire*, Douala, 53: 9-109.

**Oona L. O. S., Jeffrey C., Anna C., Coast W. D. & Laura A. K.** (2004). Molecular Phylogeny of Phyllopharyngean Ciliates and their Group I Intron. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 51(4): 441-450.

**Parmelee R. W. & Crossley D. A. J.** (1988). Earthworm production and role in the nitrogen cycle of a no-tillage agroecosystem on the Georgia Piedmont. *Pedobiologica*, 32, 351-361.

**Parthasarathi K. & Ranganathan L. S.** (1998). Pressmud vermicasts are 'hot spots' of fungi and bacteria. *Eco. Environ. Cons.*, 4(3): 81-86.

**Parthasarathi K. & Ranganathan L. S.** (2002). Supplementation of pressmud vermicasts with NPK enhances growth and yield of leguminous crops black gram (*Vigna munga*) and ground nut (*Arachis hypogaeae*). *International Journal of Current Science*, 2(1): 35-41.

**Parthasarathi K., Ranganathan L. S., Anandi V. & Zeyer J.** (2007). Diversity of microflora in the gut and casts of tropical composting earthworms reared on different substrates. *Journal of Environmental Biology*, 28 (1): 87-97.

**Pedersen J. C. & Hendriksen N. B.** (1993). Effect of passage through the intestinal tract of detritivore earthworms (*Lumbricus* spp.) on the number of selected Gram-negative and total bacteria. *Biology and Fertility of Soils*, 16: 227-232.

**Pelosi C.** (2008). Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre *lumbricus terrestris* au champ. Contribution à l'étude de l'impact de systèmes de culture sur les communautés lombriciennes. *Thèse de Doctorat Ph.D*, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (*Agro Paris Tech*), 141 p.

**Peter D. J. S., Maik Hilgarth, M. A. Horn, & Harold L. D.** (2010). Effect of Earthworm Feeding Guilds on Ingested Dissimilatory Nitrate Reducers and Denitrifiers in the

Alimentary Canal of the Earthworm. *Applied and Environmental Microbiology*, 76 (18): 6205-6214.

**Phillipson J. & Bolton P. J.** (1977). Growth and cocoon production by *Allolobohora rosea* (Oligochaeta: Lumbricidae). *Pedobiologyca*, 17: 70-82.

**Piasecki W., Goodwin A. E., Eiras J. C. & Nowak B. F.** (2004). Importance of Copepoda in Freshwater Aquaculture. *Zoological Studies*, 43 (2): 193-205.

**Pinel-Alloul B., Methot G., Verreault G. & Vigneault Y.** (1990). Zooplankton species associations in Quebec lakes: variation with abiotic factors, including natural and anthropogenic acidification, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47: 110-121.

**Pinto C.** (1926). Anatomia e biologia dos *Nyctotherus* dos Batrachios do Brasil (*Nyctotherus tejerai* nova especie). *Ibid.*, (3): 45-48.

**Pomeroy L. R.** (1974). The ocean's food web, a changing paradigm. *BioScience* 24: 499-504.

**Porter K.G., Sherr B. F., Pace M. & Sander R. W.** (1985). Protozoa in planktonic food webs. *Journal of Protozoology*, 32: 409 p.

**Puh Y. G.** (1940). Digestive enzyme actions in the gut of the earthworm. *Pheretima*. *Contr. Biology International Society of Zoological Sciences*, 13: 121 p.

**Puytorac P. de** (1968a). Sur quelques Ciliés *Hysterocinetidae* endoparasites de Vers Oligichètes au Gabon. Révision de la famille. *Biologia Gabonica*, 4: 241-279.

**Puytorac P. de.** (1968b). Structure et ultrastructure de quatre nouvelles espèces de Ciliés *Hysterocinetidae* Diesing, *Protistologica*, 4: 453-467.

**Puytorac P. de** (1969a). Nouvelles espèces de Ciliés Astomes endoparasites d'Oligochètes *Megascolecidae*. *Revue de la Société d'histoire Naturelle de Toulouse*, 30: 79-95.

**Puytorac P. de** (1969b). Les Ciliés Astomes *Hoplitophryidae*. I. Description de nouvelles espèces. *Protistologica*, 5(2): 255-268.

**Puytorac P. de** (1972). Les Ciliés Astomes *Hoplitophryidae*. II. Révision systématique de ce groupe. *Protistologica*. 8(1) : 5-42.

**Puytorac P. de** (1994). Proposition d'une classification du phylum Ciliophora. Doflein, 1901. (Réunion de systématique, Clermont-Ferrand). *Centre de Recherche Académique de Paris*, T. 278 Série D, 5-27.



**Puytorac P. de & Mauret P.** (1956). Détermination de certaines des conditions écologiques propres aux différents Ciliés parasites du tube digestif D'*Allolobophora savignyi* (Oligochètes). *Bulletin Biologique de la France et de la Belgique*. Tome XC (2): 123-141.

**Puytorac P. de & Dragesco J.** (1968). Quatre espèces nouvelles de Ciliés Astomes chez les *Alma emini* (Mchlsn) (Ver Ciodrilina) du Gabon. *Annale de la Station Biologie Besse-en-chandesse*, 3: 259-266.

**Puytorac P. de & Dragesco J.** (1969). Description de six genres nouveaux de Ciliés Astomes Hoplitophryidae endoparasites de vers Glossoscolecidae au Gabon. *Biologie Gabon*, 5 (1): 5-27.

**Puytorac P. de & Grain J.** (1976). Ultra structure du cortex buccal et évolution chez les ciliés. *Protistologica*, 12 : 49-67.

**Puytorac P. de, Batisse A., Bohatier J., Corliss J. O., Deroux G., Didier P., et al.** (1974). Proposition d'une classification du phylum Ciliophora Doflein, 1901 (réunion de systématique, Clermont-Ferrand). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 278 : 2799-2802.

**Puytorac P. de, Groliere C. A. & Grain J.** (1979). Nouveaux arguments (Hysterophryagen. Nov., *Raabellocineta* gen. Nov.) En faveur de liaisons phylétiques possibles entre ciliés Astomatida et Scuticociliatida. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 289 : 857-859.

**Puytorac P. de, Grain J., & Mignot J. P.** (1987). *Précis de Protistologie*, pp. 581.

**Puytorac P. de, Batisse A., Deroux G., Fleury A., Grain J., Laval-Peuto M. & Tuffrau M.** (1993). Proposition d'une nouvelle classification du phylum des protozoaires Ciliophora Doflein, 1901. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Life Sciences*, 316: 716-720.

**Raabe Z.** (1949). Studies on the family *Hysteroconinetidae* Diesing. *Annale Museum Zoology Polonica*, 14: 21-68.

**Rassoulzadegan F.** (1993). Protozoa patterns in the Azam-Ammerman's bacteria-phytoplankton mutualism. In: Guerrero R, Pedros-Alio C (eds) Trends in microbial ecology. *Spanish Society for Microbiology*, Barcelona, pp 435-439.

**Rebecca A. Z., Casey L. M., Spencer V. M. & Laura A. K.** (2006). Genome Architecture Drives Protein Evolution in Ciliate. *Molecular Biology Evolution*, 23 (9): 1681-1687.

**Ribes M., Coma R. & Gili J. M.** (1998). Heterotrophic feeding by gorgonian corals with symbiotic zooxanthellae. *Limnology and Oceanography*, 43: 1170-1179.

**Ribes M., Coma R. & Gili J. M.** (1999). Natural diet and grazing rate of the temperature sponge *Dysidea avara* through an annual cycle. *Marine Ecology Progress Series*, 176: 179-190.

**Richards S., Hewson K., Moller H., Wharton D., Campbell H., Bengé J. & Manhire J.** (2007). Soil biota as indicators of soil quality in organic and integrated management kiwifruit orchards in New Zealand. *Acta Horticulturae*, 627-632.

**Sanders R. W., Porter K. G., Benneti S. J. & Debiase A. E.** (1989). Seasonal patterns of bacterivory by flagellates, ciliates, rotifers and cladocerans in a freshwater planktonic community. *Limnology and Oceanography*, 34: 673-687.

**Sarma S. S. S., Nandini S. & Dumont H. J.** (1998). Feeding preference and population growth of *Asplanchna brightwelli* (Rotifera) offered 2 non evasive prey rotifers. *Hydrobiology*, 361: 77-78.

**Satchell J. E.** (1967). Lumbricidae. In: Burges, A. et Raw, F. (eds), *Soil Biology*. Academic Press, London, 259-322.

**Satchell J. E.** (1980). 'r' worms and 'K' worms: a basis for classifying lumbricid earthworm strategies. In: Dindal, D. L. (eds), *Soil biology as related to land use practices. Proc. 7<sup>th</sup> Intl Colloq. Soil Zool. Syracuse, Environmental Protection Agency, Washington D. C.*, 848-854.

**Scheu S.** (2003). Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives. *Pedobiologyca*. 47: 846-856.

**Schmidt O., H. L. Drake & M. A. Horn.** (2010). Hitherto unknown [FeFe]-hydrogenase gene diversity in anaerobes and anoxic enrichments from a moderately acidic fen. *Applied and Environmental Microbiology*, 76, 2027-2031.

**Schmidt O., Pia K. Wüst, Susanne Hellmuth, Katharina Borst, Marcus A. Horn, & Harold L. Drake** (2011). Novel [NiFe]- and [FeFe]-Hydrogenase Gene Transcripts Indicative of Active Facultative Aerobes and Obligate Anaerobes in Earthworm Gut Contents. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(17): 5842-5850.

**Schwartz D.** (1989). Méthodes statistiques à l'usage des Médecins et des Biologistes. 3<sup>e</sup> Ed. *Flammarion médecine - Sciences*, Paris : 306 p.

**Simm K.** (1913). Verdauungsvorgänge bei reifen und knospenden Würmern der Gattung *Chaetogaster*. *Bulletin International de l'Académie des Sciences de Cracovie*, 624 p.

**Sims R. W. & Gerard B. M.** (1999). *Earthworm*. FSC, Publication, London, 167 p.

- Singleton D. R., P. F. Hendrix D. C. Coleman & W. B. Whitman.** (2003). Identification of uncultured bacteria tightly associated with the intestine of the earthworm *Lumbricus rubellus* (Lumbricidae: Oligocheata). *Soil Biology & Biochemistry*, 35: 1547-1555.
- Small E. B.** (1967). The Scuticociliatida, a new order of the class Ciliata (phylum Protozoa, subphylum Ciliophora). *Transactions of the American Microscopical Society*, 86: 345-370.
- Small E. B. & Lynn D. H.** (1981). A new macrosystem for the Phylum Ciliophora Doflein, 1901. *BioSystems*, 14: 387-401.
- Small E. B. & Lynn D. H.** (1985). Phylum ciliophora, Doflein, 1901. In J. J. Lee, S. H. Hutner, & E. C. Bovee (Eds.), *An illustrated guide to the protozoa*. 393-575.
- Sparagano O. & Grolière C. A.** (1991). Evaluation de la qualité des eaux d'une rivière avec les protozoaires ciliés comme bioindicateurs de pollution. Comparaison avec la physico-chimie. *Hydroécologie Appliquée*, 1: 43-62.
- Stein F.** (1859). Die Organismus der Infusionsthier nach eigenen Forschungen in systematischer Reihenfolge bearbeitet. I. Leipzig: W. Engelmann. 206 p.
- Stein F.** (1860). Ueber die Eintheilung der holotrichen Infusionsthier u. einige neuere Gattungen u. Arten dieser Ordnung. Sitz-ber. K. böhm. Ges. Wiss. Prag. 265 p.
- Stephenson W.** (1945). Concentration regulation and volume control in *Lumbricus terrestris* L. *Nature*. n° 3943, 685 p.
- Suchel J. B.** (1972). La répartition des pluies et des régimes pluviométriques au Cameroun. *Travaux et documents de géographie tropicale* (C. E. G. T.-CNRS), 5: 1-288.
- Suchel J. B.** (1987). Les climats du Cameroun. *Thèse Doctorat d'état*, Université de Bordeaux III, 1186 p.
- Sudzuki M.** (1981). Periphytic biota (Aufwuchs) in Sewagers and park water. In. Sudzuki M. (ed.), *Some approaches to saprobiological Problems*, Tokyo, pp 69-107.
- Svendsen T. S., Hansen P. E., Sommer C., Martinussen T., Grønvold J. & Holter P.** (2005). Life history characteristics of *Lumbricus terrestris* and effects of the veterinary antiparasitic compounds ivermectin and fenbendazole. *Soil Biology & Biochemistry*, 37: 927-936.
- Tracy M. V.** (1951). Cellulase and chitinase of earthworms. *Nature*, 167: 776-777.
- Urbasek F.** (1990). Cellulase activity in the gut of some earthworms. *Revue d'Ecologie et Biologie du Sol*. 27(1): 21-28.

**Valle-Molinares R., Borges S. & Rios-Velazquez C.** (2007). Characterization of possible symbionts in *Onychochaeta borincana* (Annelida: Glossoscolecidae). *European Journal of Soil Biology*, 43: 14-18.

**Van Straalen N. M.** (1998). Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology*, 9: 429-437.

**Vdacny P. & Foissner W.** (2009). Ontogenesis of *Dileptus terrenus* and *Pseudomonilicaryon brachyproboscis* (Ciliophora, Haptoria). *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 56: 232-243.

**Wall D. H.** (2004). Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments. Island Press, Washington, USA, 275 p.

**Wallengren H.** (1897). Studier ofver Ciliata infusorier III. Bidrag till Kannedomen om Fam. UrceolarinaStein. *Acta Universitatis Lundensis*, 33: 1-48.

**Weisse T. & Muller H.** (1998). Planktonic protozoa and the microbial food web in Lake Constance. *Archives Hydrobiology*, 53: 223-254.

**Wicklów B. J.** (1982). The Discocephalina (n. Subord.): Ultrastructure, morphogenesis and evolutionary implications of a group of endemic marine interstitial hypotrichs (Ciliophora, Protozoa). *Protistologica*, 18: 299-330.

**Willem T. & Minne S.** (1899). Recherches sur la digestion et l'absorption intestinale chez le Lombric. *L. Jubil., Ch. Van Bambecke*, Bruxelles, 201 p.

**Wolf A. V.** (1939). Paths of water exchange in the earthworm. *The Anatomical Record*, 75: 139 p

**Wolf A. V.** (1940). Paths of water exchange in the earthworm. *Physiological and Biochemical Zoology*, 13: 294 p.

**Wolska M.** (1971). Studies on the family Blepharocorythidae Hsiung. VI. Phylogenesis of the family and the description of the new genus *Circodinium* gen. n. With the species *C. Minimum* (Gassovsky, 1918). *Acta Protozoologica*, 9: 171-194.

**Wolter C. & Scheu S.** (1999). Changes in bacterial numbers hyphal lengths during the gut passage through *Lumbricus terrestris* (Lumbricidae: Oligochaeta). *Pedobiologica*, 43: 891-900.

**Wüst P. K., M. A. Horn & Drake H. L.** (2009). In situ hydrogen and nitrous oxide as indicators of concomitant fermentation and denitrification in the alimentary canal of the earthworm *Lumbricus terrestris*. *Applied and Environmental Microbiology*, 75: 1852-1859.

**Wüst P. K., M. A. Horn & Drake H. L.** (2011). *Clostridiaceae* and *Enterobacteriaceae* as active fermenters in earthworm gut content. *International Society for Microbial Ecology*, 5: 92-106.

**Zébazé Togouet S. H., Njiné T., Kemka N., Nola M., Foto Menbohan S., Niyitegeka D., Ngassam P. & Boutin C.** (2006). Composition et distribution spatio-temporelle des protozoaires ciliés dans un petit lac hypereutrophe du Cameroun (Afrique Centrale). *Revue des Sciencse de l'Eau*, 19: 151-162.

**Zigui C., Weibo S. & Alan W.** (2000). Studies on six *Euplotes* spp. (Ciliophora: Hypotrichida) Using RAPD Fingerprinting a Comparison with Morphometric Analyses. *Acta Protozoologica*, 39: 209-216.

# ANNEXES

**Annexe 1** : Classification des Ciliés selon de Puytorac (1994)

- **Sous-phylum Tubulicorticata de Puytorac *et al.*, 1993**

Super classe Postciliodesmatophora Gerassimova & Seravin, 1976

**Classe Karyorelictea Corliss, 1974**

Sous classe Trachelocercia Jankowski, 1980

Ordre Trachelocercida Kent, 1881

Sous classe Loxodia Jankowski, 1980

Ordre Loxodida Jankowski in Small & Lynn, 1985

Sous classe Protocruziidia Jankowski in Small & Lynn, 1985

Ordre Protocruziida Jankowski in Small & Lynn, 1985

Sous classe Protoheterotrichia Nouzarède, 1977

Ordre Protoheterotrichida Nouzarède, 1977

**Classe Heterotrichea Stein, 1859**

Sous classe Heterotrichia Stein, 1859

Ordre Heterotrichida Stein, 1859

Ordre Coliphorida Jankowski, 1967

Ordre Armophorida Jankowski, 1964

Ordre Phacodiniida Small & Lynn, 1985

Ordre Odontostomatida Sawaya, 1940

Ordre Licnophorida Corliss, 1956

Sous classe Clevelandellidia de Puytorac & Grain, 1976

Ordre Clevelandellida de Puytorac & Grain, 1976

Super classe Spirotricha Bütschli, 1889

**Classe Hypotrichea Stein, 1859**

Sous classe Euplotia Tuffrau & Fleury in de Puytorac *et al.*, 1993

Ordre Kiiitrichida Nozawa, 1941

Ordre Euplotida Small & Lynn, 1985

Ordre Uronychiida Tuffrau & Fleury in de Puytorac *et al.*, 1993

Ordre Gastrocirrhida Tuffrau & Fleury in de Puytorac *et al.*, 1993

Sous classe Oxytrichia Tuffrau & Fleury in de Puytorac *et al.*, 1993

Ordre Urostylida Jankowski, 1979

Ordre Discocephalida Wicklow, 1982

Ordre Oxytrichida Jankowski, 1979

**Classe Oligotrichea Bütschli, 1887**

Sous classe Oligotrichia Bütschli, 1887

Ordre Oligotrichida Bütschli, 1887

Sous classe Strobilia Laval-Peuto, Grain & Deroux in de Puytorac *et al.*, 1993

Ordre Choreotrichida Small & Lynn, 1985

Ordre Tintinnida Kofoid & Campbell, 1929

Super classe Transversala de Puytorac *et al.*, 1993

**Classe Colpodea Small & Lynn, 1981**

Sous classe Colpodia Foissner, 1985

Ordre Colpodida de Puytorac *et al.*, 1974

Ordre Grossglockneriida Foissner, 1985

Ordre Bursariomorphida Fernández-Galiano, 1979

Ordre Cyrtolophosidida Foissner, 1978

Ordre Sorogenida Foissner, 1985  
Ordre Bryophryida de Puytorac *et al.*, 1979  
Sous classe Bryometopia Foissner, 1985  
Ordre Bryometopida Foissner, 1985  
**Classe Plagiopylea Small & Lynn, 1985**  
Ordre Plagiopylida Small & Lynn, 1985

- **Sous-phylum Filicorticata de Puytorac *et al.*, 1993**

**Classe Litostomatea Small & Lynn, 1981**  
Ordre Haptorida Corliss, 1974  
Ordre Spathidiida Foissner & Foissner, 1988  
Ordre Helicoprodontida Grain in de Puytorac *et al.*, 1993  
Ordre Pleurostomatida Schewiakoff, 1896  
Ordre Mesodiniida Grain in de Puytorac *et al.*, 1993  
**Classe Vestibuliferea de Puytorac *et al.*, 1974**  
Ordre Trichostomatida Bütschli, 1889  
Ordre Entodiniomorphida Reichenow in Doflein & Reichenow, 1929  
Ordre Blepharocorythida Wolska, 1971

- **Sous-phylum Epiplasmata de Puytorac *et al.*, 1993**

Super classe Ciliostomatophora de Puytorac *et al.*, 1993  
**Classe Phyllopharyngea de Puytorac *et al.*, 1974**  
Sous classe Cyrtophoria Fauré-Fremiet in Corliss, 1956  
Ordre Chilodonellida Deroux in de Puytorac *et al.*, 1993  
Ordre Chlamyodontida Deroux in de Puytorac *et al.*, 1993  
Ordre Dysteriida Deroux in de Puytorac *et al.*, 1993  
Sous classe Chonotrichia Wallengren, 1897  
Ordre Chilodochonida Batisse in de Puytorac *et al.*, 1993  
Ordre Exogemmida Jankowski, 1972  
Ordre Cryptogemmida Jankowski, 1975  
Sous classe Rhynchodia Chatton & Lwoff, 1939  
Ordre Hypocomatida Deroux, 1976  
Ordre Rhynchodida Chatton & Lwoff, 1939  
Sous classe Suctoria Claparède & Lachmann, 1858  
Ordre Podophryida Jankowski, 1973  
Ordre Exotropida Batisse in de Puytorac *et al.*, 1993  
Ordre Entotropida Batisse in de Puytorac *et al.*, 1993  
Super classe Membranellophora Jankowski, 1975  
**Classe Nassophorea Small & Lynn, 1981**  
Sous classe Prostomatia Schewiakoff, 1896  
Ordre Prostomatida Schewiakoff, 1896  
Ordre Prorodontida Corliss, 1974  
Sous classe Nassulia Jankowski, 1967  
Ordre Nassulopsida Deroux in de Puytorac *et al.*, 1993  
Ordre Synhymeniida Deroux, 1978  
Ordre Nassulida Jankowski, 1967



Ordre Paranassulida Deroux in de Puytorac *et al.*, 1993  
Ordre Parahymenostomatida Grain *et al.*, 1976  
Ordre Microthoracida Jankowski, 1967  
**Classe Oligohymenophorea de Puytorac *et al.*, 1974**  
Sous classe Peniculia Fauré-Fremiet in Corliss, 1956  
Ordre Peniculida Fauré-Fremiet in Corliss, 1956  
Ordre Urocentrida de Puytorac *et al.*, 1987  
Sous classe Scuticociliatia Small, 1967  
Ordre Philasterida Small, 1967  
Ordre Pleuronematida Fauré-Fremiet in Corliss, 1956  
Sous classe Peritrichia Stein, 1859  
Ordre Sessilida Kahl, 1933  
Ordre Mobilida Kahl, 1933  
Sous classe Hysteroconetia Diesing, 1866  
Ordre Hysteroconetida Diesing, 1866  
Sous classe Astomatia Schewiakoff, 1896  
Ordre Hoplitophryida Cheissin, 1930  
Ordre Anopliphryida Cépède, 1910  
Sous classe Hymenostomatia Delage & Hérouard, 1896  
Ordre Tetrahymenida Fauré-Fremiet in Corliss, 1956  
Ordre Ophryoglenida Canella & Rocchi-Canella, 1964  
Sous classe Apostomatia Chatton & Lwoff, 1928  
Ordre Apostomatida Chatton & Lwoff, 1928  
Ordre Astomatophorida Jankowski, 1966  
Ordre Pilisuctorida Jankowski, 1966

**Annexe 2 : Composition minéralogique des eaux de commerce « Supermont » et « Volvic »**

**Analyse moyenne en mg.L<sup>-1</sup>**

**Supermont (Cameroun)**

Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	128,0
Chlorure (Cl <sup>-</sup> ).....	2,1
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ).....	1,0
Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	4,1
Calcium (Ca <sup>++</sup> ).....	16,0
Magnésium (Mg <sup>++</sup> ).....	10,2
Potassium (K <sup>+</sup> ).....	5,2
Sodium (Na <sup>+</sup> ).....	12,7
Potentiel d'Hydrogène (pH) .....	7,1

**Volvic (France)**

Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	71,0
Chlorure (Cl <sup>-</sup> ).....	13,5
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ).....	8,1
Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	6,3
Calcium (Ca <sup>++</sup> ).....	11,5
Magnésium (Mg <sup>++</sup> ).....	8,0
Potassium (K <sup>+</sup> ).....	6,2
Sodium (Na <sup>+</sup> ).....	11,6
Silice (SiO <sub>2</sub> ).....	31,7
Potentiel d'Hydrogène (pH) .....	7,0

**Annexe 3 : Corrélations entre paramètres physico-chimiques et abondance ciliée dans l'intestin de *Alma emini*.**

Corrélations	Intestin antérieur				Intestin moyen				Intestin postérieur			
	pH	CE	TSD	TED	pH	CE	TSD	TED	pH	CE	TSD	TED
<i>Almophryra bivacuolata</i>	0,790	0,790	0,958	0,612	0,232	0,064	0,829	0,756	-	-	-	-
<i>Almophryra mediovacuolata</i>	0,474	0,739	0,863	0,189	0,249	0,738	0,309	0,926	-	-	-	-
<i>Almophryra laterovacuolata</i>	0,947	0,780	0,863	0,852	0,294	0,724	0,295	0,829	-	-	-	-
<i>Dicoelophrya almae</i>	-	-	-	-	0,821	0,979	0,612	0,750	0,899	0,590	0,152	0,957
<i>Dicoelophrya mediovacuolata</i>	-	-	-	-	0,473	0,729	0,258	0,252	0,630	0,198	0,290	0,428
<i>Paracoelophrya intermedia</i>	0,926	0,474	0,527	0,831	0,164	0,415	0,728	0,544	0,822	0,977	0,417	0,061
<i>Paracoelophrya polymorphus</i>	0,728	0,649	0,535	0,127	0,313	0,446	0,627	0,147	0,959	0,799	0,503	0,438
<i>Paracoelophrya ebeddensis</i>	0,915	0,223	0,417	0,979	0,098	0,709	0,555	0,631	0,811	0,298	0,873	0,689
<b><i>Metaracoelophrya. intermedia</i></b>	0,728	0,738	0,177	<b>0,018*</b>	0,372	0,242	0,727	0,480	0,605	0,875	0,290	0,498
<b><i>Coelophrya roquei</i></b>	0,589	0,170	0,830	<b>0,038*</b>	0,883	0,904	0,100	0,677	<b>0,024*</b>	0,367	0,460	0,792
<i>Coelophrya ovales</i>	0,428	0,893	0,36	0,388	0,920	0,841	0,188	0,155	-	-	-	-
<i>Coelophrya ebeddensis</i>	0,270	0,474	0,601	0,304	0,313	0,811	0,277	0,346	0,769	0,223	0,223	0,770
<i>Anoplophrya simplex</i>	0,821	0,719	0,831	0,905	0,979	0,422	0,894	0,894	-	-	-	-
<b><i>Metapychostrum ebeddae</i></b>	-	-	-	-	0,968	<b>0,013*</b>	0,059	0,431	0,850	0,305	0,291	0,333
<i>Metapychostrum pirimorphus</i>	-	-	-	-	0,896	0,140	0,590	0,323	0,788	0,480	0,099	0,524
<i>Ptychostrum sanagae</i>	-	-	-	-	0,914	0,607	0,531	0,746	0,717	0,100	0,935	0,051
<i>Ptychostrum prolixus</i>	-	-	-	-	0,733	0,849	0,775	0,448	0,141	0,261	0,979	0,082
<b><i>Ptychostrum commune</i></b>	-	-	-	-	0,925	0,727	0,185	0,872	0,457	0,853	0,355	<b>0,021*</b>
<b><i>Ptychostrum macrostrum</i></b>	-	-	-	-	0,562	<b>0,012*</b>	<b>0,042*</b>	0,530	<b>0,007**</b>	0,135	0,727	0,758
<i>Ptychostrum elongatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,251	0,322	0,931	0,214
<i>Ptychostrum variabilis</i>	-	-	-	-	0,422	0,199	0,904	0,178	0,883	0,448	0,800	0,572
<i>Proptychostrum commune</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,899	0,748	0,936	0,873
<i>Proptychostrum simplex</i>	-	-	-	-	0,063	0,060	0,674	0,787	0,423	0,821	0,408	0,630
<i>Preptychostrum microstrum</i>	-	-	-	-	0,722	0,957	0,841	0,947	0,547	0,430	0,609	0,779

\* : corrélation significative au niveau 0,05 ; \*\* : corrélation très significative au niveau 0,01 ; - : aucune valeur ; CE : conductivité électrique ; pH : potentiel d'hydrogène ; TSD : teneur en substances dissoutes ; TED : teneur en eau du contenu digestif ; N= 33 valeurs

**Annexe 4** : Corrélations entre différentes formes d'azote, orthophosphates et abondance ciliée dans l'intestin de *Alma emini*.

Corrélations	Intestin antérieur				Intestin moyen				Intestin postérieur			
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
<i>Almophrya bivacuolata</i>	0,424	0,841	0,759	0,076	0,629	0,551	0,452	0,506	-	-	-	-
<b><i>Almophrya mediovacuolata</i></b>	0,883	0,569	0,773	0,470	0,714	0,736	<b>0,043*</b>	0,109	-	-	-	-
<i>Almophrya laterovacuolata</i>	0,391	0,941	0,553	0,622	0,922	0,157	0,714	0,297	-	-	-	-
<i>Dicoelophrya almae</i>	-	-	-	-	0,599	0,113	0,312	0,818	0,630	0,581	0,162	0,456
<b><i>Dicoelophrya mediovacuolata</i></b>	-	-	-	-	0,106	<b>0,026*</b>	0,258	0,476	0,863	0,753	0,891	0,902
<i>Paracoelophrya intermedia</i>	0,894	0,066	0,758	0,152	0,355	0,777	0,748	0,207	0,535	0,311	0,839	0,311
<i>Paracoelophrya polymorphus</i>	0,262	0,261	0,215	0,482	0,718	0,925	0,480	0,692	0,857	0,098	0,959	0,625
<i>Paracoelophrya ebebdensis</i>	0,189	0,365	0,423	<b>0,037*</b>	0,629	0,627	0,077	0,674	0,267	0,467	0,433	0,398
<i>Metaracoelophrya intermedia</i>	0,878	0,893	0,936	0,607	0,890	0,353	0,851	0,083	0,589	0,311	0,813	0,063
<b><i>Coelophrya roquei</i></b>	0,706	0,590	0,756	0,615	0,934	<b>0,050*</b>	0,820	0,528	0,764	0,115	0,926	0,529
<b><i>Coelophrya ovaes</i></b>	0,078	0,865	0,818	0,193	0,704	<b>0,048*</b>	0,456	0,968	-	-	-	-
<i>Coelophrya ebebdensis</i>	0,320	0,349	0,548	0,272	0,589	0,111	0,318	0,189	0,657	0,117	1,000	0,455
<i>Anoplophrya simplex</i>	0,238	0,819	0,697	0,436	0,682	0,730	0,553	0,070	-	-	-	-
<i>Metaptychostomum ebebdae</i>	-	-	-	-	0,593	0,700	0,345	0,436	0,924	0,305	0,090	0,436
<i>Metaptychostomum pirimorphus</i>	-	-	-	-	0,793	0,237	0,619	0,727	0,240	0,830	0,758	0,792
<i>Ptychostomum sanagae</i>	-	-	-	-	0,274	0,336	0,746	0,453	0,060	0,765	0,200	0,213
<b><i>Ptychostomum prolixus</i></b>	-	-	-	-	0,276	<b>0,005**</b>	0,286	0,740	0,117	0,358	0,707	0,503
<b><i>Ptychostomum commune</i></b>	-	-	-	-	0,384	<b>0,038*</b>	0,936	0,183	0,737	0,151	0,133	0,697
<i>Ptychostomum macrostomum</i>	-	-	-	-	0,171	0,442	0,725	0,465	0,984	0,789	0,831	0,767
<i>Ptychostomum elongatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,720	0,717	0,925	0,925
<b><i>Ptychostomum variabilis</i></b>	-	-	-	-	0,644	0,555	0,645	0,913	0,710	0,215	0,915	<b>0,006**</b>
<i>Proptychostomum commune</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,182	0,590	0,904	0,367
<i>Proptychostomum simplex</i>	-	-	-	-	0,498	0,817	0,705	0,335	0,936	0,424	0,842	0,589
<i>Preptychostomum microstomum</i>	-	-	-	-	0,503	0,181	0,303	0,876	0,674	0,687	0,619	0,117

\* : corrélation significative au niveau 0,05 ; \*\* : corrélation très significative au niveau 0,01 ; - : aucune valeur ; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> : nitrates ; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> : nitrites ; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> : ammonium ; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> : orthophosphates ; N= 33 valeurs

**Annexe 5 : Corrélations entre Astomes et Hysteroconinetidés dans la portion moyenne de l'intestin de *Alma emini*.**

Corrélation	Hysteroconinetidae										
	<i>Metaptychos- tomum ebbedae</i>	<i>Metaptychos- tomum pirimorphus</i>	<i>Ptychos- tomum sanagae</i>	<i>Ptychos- tomum prolixus</i>	<i>Ptychos- tomum commune</i>	<i>Ptychos- tomum macrostomum</i>	<i>Ptychos- tomum elongatum</i>	<i>Ptychos- tomum variabilis</i>	<i>Proptychos- tomum commune</i>	<i>Proptychos- tomum simplex</i>	<i>Preptychos- tomum microstomum</i>
<i>Almophrya bivacuolata</i>	0,581	<b>0,035*</b>	0,626	0,121	0,734	<b>0,043*</b>	-	0,182	-	0,105	0,525
<i>Almophrya mediovaculata</i>	0,984	0,512	0,719	0,811	0,531	0,501	-	0,571	-	0,212	0,409
<i>Almophrya laterovaculata</i>	0,509	0,105	0,227	0,150	<b>0,011*</b>	0,384	-	0,853	-	0,127	0,551
<i>Dicoelophrya almae</i>	0,500	0,261	<b>0,001**</b>	0,056	0,201	0,829	-	0,645	-	0,290	0,101
<i>Dicoelophrya mediovaculata</i>	0,957	0,490	0,160	0,495	0,114	0,259	-	0,611	-	0,909	0,098
<i>Paracoelophrya intermedia</i>	0,717	0,709	0,548	0,368	0,095	<b>0,041*</b>	-	0,136	-	0,264	0,599
<i>Paracoelophrya polymorphus</i>	0,550	0,175	0,871	0,590	0,502	0,490	-	0,786	-	<b>0,034*</b>	0,616
<i>Paracoelophrya ebbedensis</i>	0,508	0,741	0,478	0,189	0,697	0,645	-	0,597	-	0,257	0,238
<i>Metaracoelophrya intermedia</i>	0,452	0,636	0,786	0,680	<b>0,005**</b>	0,573	-	0,174	-	0,299	0,363
<i>Coelophrya. roquei</i>	0,510	0,617	0,855	0,827	0,187	0,402	-	0,653	-	0,293	0,279
<i>Coelophrya ovaes</i>	0,304	0,054	0,771	0,485	0,089	0,419	-	0,995	-	0,096	0,489
<i>Coelophrya ebbedensis</i>	0,836	0,464	0,273	0,295	<b>0,024*</b>	0,529	-	0,746	-	0,396	0,102
<i>Anopliphrya simplex</i>	0,492	0,386	0,882	0,795	<b>0,035*</b>	0,461	-	0,818	-	0,394	0,279

\* : corrélation significative au niveau 0,05 ; \*\* : corrélation très significative au niveau 0,01 ; - : aucune valeur ; N= 33 valeurs

**Annexe 6 : Corrélations entre Astomes et Hysteroconetidés dans la portion postérieure de l'intestin de *Alma emini*.**

Corrélation	Hysteroconetidae										
	<i>Metaptychos- tomum ebbedae</i>	<i>Metaptychos- tomum pirimorphus</i>	<i>Ptychos- tomum sanagae</i>	<i>Ptychos- tomum prolixus</i>	<i>Ptychos- tomum commune</i>	<i>Ptychos- tomum macrostomum</i>	<i>Ptychos- tomum elongatum</i>	<i>Ptychos- tomum variabilis</i>	<i>Proptychos- tomum commune</i>	<i>Proptychos- tomum simplex</i>	<i>Preptychos- tomum microstomum</i>
<i>Almophrya bivacuolata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Almophrya mediovaculata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Almophrya laterovaculata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><i>Dicoelophrya almae</i></b>	0,227	0,074	0,946	0,540	0,738	0,909	<b>0,034*</b>	0,488	0,798	0,613	0,607
<b><i>Dicoelophrya mediovaculata</i></b>	0,734	0,623	<b>0,044*</b>	0,503	0,870	0,446	0,380	0,212	0,352	0,066	0,408
<b><i>Paracoelophrya intermedia</i></b>	0,680	0,378	0,150	<b>0,029*</b>	0,059	0,726	0,748	0,896	0,202	0,694	0,136
<i>Paracoelophrya polymorphus</i>	0,567	0,418	0,794	0,186	0,959	0,230	0,878	0,346	0,219	0,210	0,168
<b><i>Paracoelophrya ebbedensis</i></b>	0,233	0,076	0,744	0,287	0,401	0,374	0,735	0,862	<b>0,037*</b>	<b>0,048*</b>	0,438
<b><i>Metaracoelophrya intermedia</i></b>	0,453	0,360	0,376	0,494	0,813	0,968	0,858	<b>0,026*</b>	0,174	0,386	0,469
<i>Coelophrya. roquei</i>	0,962	0,340	0,410	0,790	0,745	0,064	0,118	0,149	0,785	0,073	0,638
<i>Coelophrya ovales</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coelophrya ebbedensis</i>	0,452	0,657	0,881	0,552	1000	0,114	0,658	0,115	0,883	0,884	0,367
<i>Anoplophrya simplex</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* : corrélation significative au niveau 0,05 ; - : aucune valeur ; N= 33 valeurs

**Annexe 7** : Liste des publications scientifiques tirées de la thèse

**1- Nana P. A.**, Ngassam P., Fokam Z., Bricheux G., Bouchard P., Coffe G., Sime-Ngando T. & Zébazé Togouet S. H. Variations morphologiques de l'appareil nucléaire chez les Ciliés Astomes *Almophrya bivacuolata* et *A. mediovacuolata* (Protozoa : Ciliophora). Endocommensaux d'oligochètes terricoles du Cameroun. *Parasite*, 2010, 17: 293-297.

**2- Nana P. A.**, Fokam Z., Ntougwa Ebague G. M., Ngassam P., Bricheux G., Bouchard P. & Sime-Ngando T. Description of five new species of hystero-cinetian ciliates (Ciliophora, Hystero-cinetidae), endocommensal in a terrestrial oligochaete of the genus *Alma* from Cameroon. *Protistology*, 2012, 7 (2): 97-107.

**3- Fokam Z., Ngassam P., Nana P. A., Bricheux G., Bouchard P. & Sime-Ngando T.** Révision de la Sous-Famille des Metaracoelophryinae de Puytorac, 1972 (Oligohymenophora: Hoplytophryida: Hoplytophryidae), Ciliés Astomes du tube digestif d'oligochètes terricoles d'Afrique: description de cinq espèces nouvelles. *Parasite*, 2012, 19: 41-52.

**4- Nana P. A.**, Fokam Z., Ngassam P., Zébazé Togouet S. H., Ajeegah G., Bricheux G., Bouchard P. & Sime-Ngando T. Distribution of Astomes and Hystero-cinetidae (Ciliophora, Oligohymenophora), along the digestive tract of *Alma emini* (Oligochaete, Glossoscolecidae) is correlated with physico-chemical parameters. *Protistology*, 2012, 7 (4): 193-202.

**5- Nana P. A.**, Fokam Z., Ngassam P., Ajeegah G., Moche K., Bricheux G., Bouchard P., Vigues B. & Sime-Ngando T. Influence of ionic contents on the stratification of Astomatia and Hystero-cinetidae (Ciliophora, Oligohymenophora) along the digestive tract of *Alma emini* (Oligochaete, Glossoscolecidae) from the Center region of Cameroon. *International Journal of Current Research*, 2014, 6 (1): 4468-4474.

**6- Nana P. A.**, Fokam Z., Bricheux G., Moche K., Colombet J., Ngassam P., Sime-Ngando T. Viruses and Bacteria microfauna of the soil and the digestive tract of earthworms (Oligochaetes Annelids) of Cameroon: highlighting, quantification and importance. *International Journal of Biosciences*, 2015, 6 (1): 252-260.