ORDRE DES EPHEMEROPTERES

Jean-Marc ELOUARD, Michel SARTORI, Jean-Luc GATTOLLIAT & Ranalison OLIARINONY

On également collaborés à l'étude de ce groupe Mlles Nanoa RABERIAKA, Fabienne RANAIVOHARINDRIAKA et Mme Geneviève L'EPPLATTENIER.

Les Éphémères sont des Insectes hétérométaboles, constituant l'Ordre le plus primitif parmi les Insectes ailés connus. Présents depuis le Carbonifère, ils semblent n'avoir que peu ou pas évolué depuis plus de 120 Ma, au moins aux niveaux supra spécifiques. Cet Ordre a été extrêmement diversifié durant la période gondwanienne et s'est lentement appauvri depuis. Ceci a pour conséquence un arbre évolutif comprenant de nombreux rameaux dont chacun n'est constitué que de peu de taxons. Ainsi, à Madagascar il n'y a en moyenne que deux à quatre espèces par genre ; les Trichoptères, quant à eux, en présentent dix à quarante et ce, pour la majorité des genres. Parmi les Insectes, les Éphémères font partie des groupes mineurs, ne comprenant dans le monde qu'environ 3 000 espèces.

Leur cycle de développement comprend quatre stades : l'œuf toujours aquatique ; la larve également aquatique et deux stades aériens : la sub-imago et l'imago. La subimago est ailée et aérienne et issue de la larve ; l'imago, également aérienne, correspond à une desquamation totale ou partielle de la subimago. Toutefois, même lorsqu'elle n'est que partielle, la mue concerne toujours les organes génitaux afin de permettre la copulation. Du fait également de cette desquamation, les imagos d'Éphémères ne portent des phanères d'aucune sorte sauf des soies sur les bords postérieurs des ailes chez certains Pannotes. Selon les familles, la systématique de cet Ordre est essentiellement basée sur les larves (Baetidae) ou sur les imagos (autres Familles).

1. MORPHOLOGIE

1.1. ŒUFS

Les œufs des Éphémères malgaches n'avaient jamais été étudiés avant que ne commence le programme *Biodiversité et biotypologie des eaux continentales de Madagascar*. Depuis, plusieurs études ont été menées sur les espèces des Polymitarcyidae, Tricorythidae, Caenidae et Teloganodidae. Ces études portant sur la morphologie générale, la structure du chorion, l'emplacement et la forme du micropyle, la forme des structures d'ancrage, ont montré que les œufs comportaient de bons caractères d'identification générique et parfois spécifique. Elles sont menées au laboratoire d'entomologie du Musée de Zoologie de Lausanne par l'équipe M. SARTORI, G. LEPLATTENIER et R. OLIARINONY.

1.2. LARVES

Les larves d'Éphémères sont reconnaissables parmi les autres larves d'Insectes aquatiques par la présence sur l'abdomen de branchies et de deux cerques et d'un paracerque ; ce dernier pouvant manquer.

Tête - Les larves sont prognathes ou orthognathes, rarement hypognathes. La tête porte latéralement ou dorsalement près de la marge postéro-latérale deux yeux composés de taille moyenne, ainsi que trois ocelles. Deux antennes sont situées sous les yeux ; leur taille varie de la moitié de la capsule céphalique au plus du double de celle-ci. Les Oligoneuriidae portent une paire de branchies à la base du labium. Les pièces buccales sont fondamentalement de type broyeur, modifiées parfois en fonction du régime alimentaire.

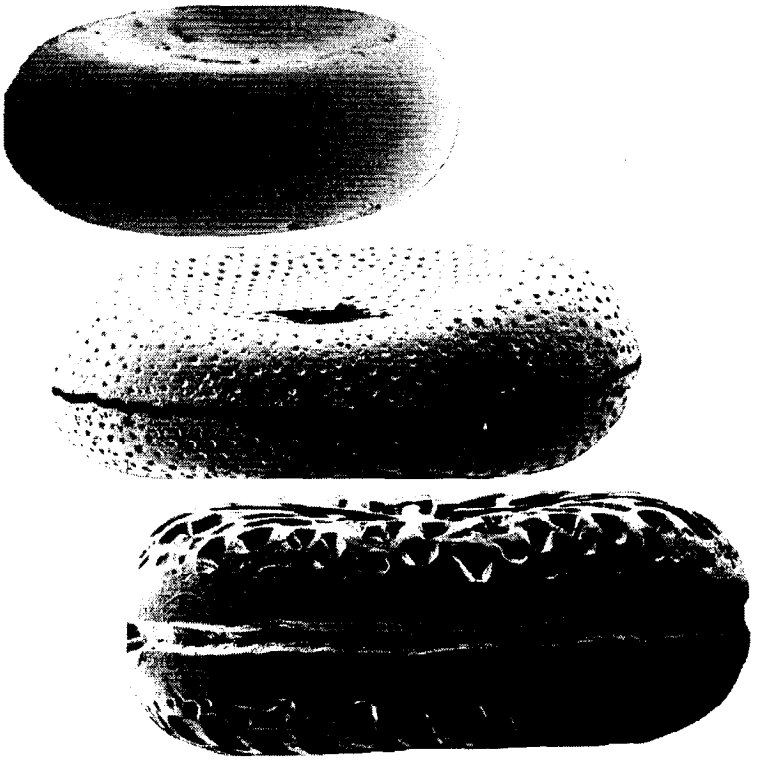


Figure 1 – Œufs de différentes espèces de *Proboscidoplocia* (Polymitarcyidae).
Photographies réalisées au Musée de Zoologie de Lausanne (Suisse).

La majorité des larves d'Éphémères sont détritivores, certaines herbivores et, quelques rares espèces, carnivores. Dans les deux premières catégories, les mandibules ont une silhouette globalement triangulaire, dans la dernière, le côté apical est plus étroit, les canines se trouvant alors proches de la mola.

Thorax - Le prothorax est très étroit, le mésothorax est le plus développé et le métathorax ne l'est que moyennement. Le thorax porte trois paires de pattes classiques avec cependant un tarse d'une seule pièce terminé par une griffe. Les pattes sont parfois modifiées pour assurer certaines fonctions tels le fouissage (Figure 2), la filtration ou la protection des branchies. Le méso- et le métathorax portent les ébauches alaires externes (Exoptérygotes) ou ptérothèques ; celles du mésothorax étant largement plus développées que celles du métathorax. Elles s'allongent en vieillissant et deviennent noires chez les larves matures prêtes à émerger, caractère utile pour sélectionner les larves à mettre en élevage. Chez les Pannotes, les ébauches mésothoraciques se rejoignent au centre, formant, selon les familles un bouclier plus ou moins important se développant vers l'arrière ; le développement maximal du bouclier étant observé dans la famille des Prosopistomatidae.

Abdomen - L'abdomen comprend dix segments. Chez certaines familles, les premiers segments sont raccourcis, tassés sous le mésonotum. Les tergites abdominaux peuvent porter des épines ou des tubercules. La forme des angles postéro-latéraux peut également constituer un caractère taxonomique.

Certains des segments abdominaux portent latéralement ou dorsalement, parfois ventralement des trachéobranchies à rôle respiratoire, parfois pulsatoire, généralement insérées sur le bord postérieur des tergites. Fondamentalement le nombre de paires de trachéobranchies est de sept, situées sur les urites I à VII. Toutefois, chez certaines lignées, ce nombre est réduit par la perte de la première ou des dernières paires. Le nombre, la forme et la position des trachéobranchies constituent d'excellents critères en systématique, au moins au niveau supra spécifique. La forme varie d'une lamelle simple à des lamelles doubles ; elles peuvent être ramifiées, frangées, découpées de cæcum, porter des microlamelles... Chez certaines familles, une des branchies se développe en une sorte d'opercule qui protège, totalement ou partiellement, celles qui lui sont postérieures.

Le 10e segment abdominal porte également deux cerques symétriques entre lesquels est situé, chez la majorité des espèces, un paracerque ou filament caudal. Les cerques peuvent être plus courts que le corps jusqu'à atteindre deux ou trois fois sa longueur. Le paracerque peut être extrêmement réduit, parfois absent. Paracerques et cerques sont munis ou non d'épines et longues soies.

1.3. LES ADULTES (LA SUBIMAGO ET L'IMAGO)

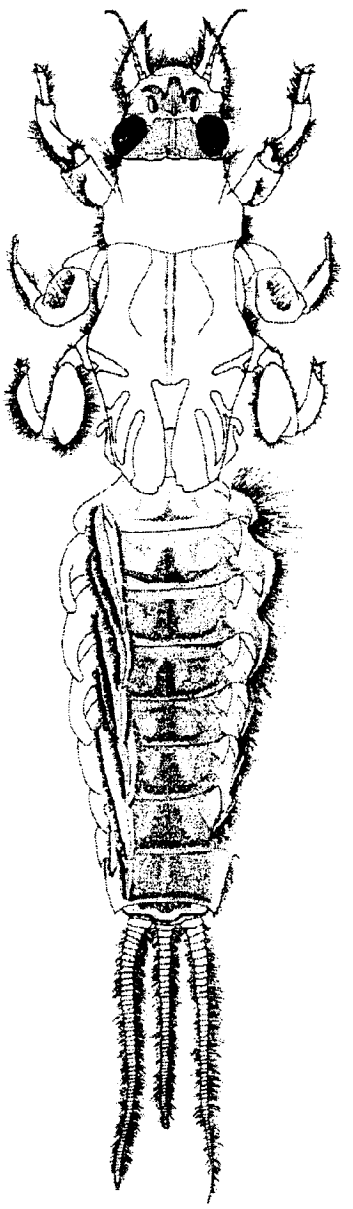


Figure 2 – Larve fouisseuse de *Cheirogenesia* sp. (Polymitarcyidae).
Dessin Magdeleine RENCHON.

Chez tous les Insectes hétérométaboles ou hémimétaboles, l'adulte émerge en tant qu'imago de la larve. Chez les Ephémères, il existe un stade supplémentaire situé entre la nymphe et l'imago, appelé la subimago. Elle est globalement identique à l'imago.

Tête - Les antennes sont courtes, composées d'un funicule court et d'un flagelle articulé. Les yeux composés sont bien développés, souvent dimorphiques, plus volumineux chez le mâle que chez la femelle pour nombre de familles. Les facettes des régions supérieure et inférieure sont souvent de taille différente chez les mâles. Les pièces buccales sont vestigiales et non fonctionnelles ; les adultes ne se nourrissant pas.

Thorax - Le prothorax est assez petit ; méso- et métathorax étant bien développés et fusionnés. Le thorax porte des pattes de composition fondamentalement classique, avec un tarse de quatre ou cinq articles et un transtarse à deux griffes dont l'une d'elles, est souvent modifiée en spatule. Chez certaines espèces, on constate une simplification, parfois une atrophie, des pattes avec réduction ou fusion du nombre d'articles du tarse, voire parfois disparition du tarse et du transtarse et fusion du fémur et du tibia.

Fondamentalement le méso- et le métathorax portent chacun une paire d'ailes. Toutefois, la paire métathoracique, toujours plus petite que la mésothoracique (c'est-à-dire égale au plus à sa moitié), est parfois absente chez un sexe ou chez les deux (Caenidae, Tricorythidae, certains Baetidae). La nervation longitudinale de base comprend, de l'avant vers l'arrière de l'aile les nervures convexes : la costale (C), la radiale (R_1), la médiane antérieure (MA) se divisant en deux branches MA_1 et MA_2, la cubitale antérieure (CuA) et les anales (A_1, A_2, ...). En alternance avec les nervures convexes, existent les nervures concaves : la sous-costale (SC), la sous-radiale ou secteur radial (RS), la médiane postérieure (MP) se divisant en deux branches (MP_1 et MP_2), la cubitale postérieure (CuP). Cette structure fondamentale est en réalité souvent plus complexe avec un secteur radial comprenant plusieurs branches, et la présence de nervures intercalaires telles les IR, l'IMA et l'IMP, la présence de nervures sigmoïdales, etc. Les nervures longitudinales sont reliées entre elles par des nervures transverses ou nervules, très abondantes chez les familles les plus primitives, pouvant former une sorte de réticulation ; leur nombre se réduit chez les familles les plus évoluées jusqu'à disparaître complètement ches les Prosopistomatidae. La nervation de l'aile postérieure est toujours simplifiée, parfois à l'extrême (Baetidae), par rapport à celle de l'antérieure. Chez plusieurs familles, l'aile postérieure porte de une a trois projections costales.

Abdomen - Il est composé de dix segments bien visibles. Le dixième porte deux cerques et un paracerque. Ce dernier, comme chez les larves, peut manquer. Lorsqu'il est présent, il est plus long que le cerque, de taille égale ou plus petite, se réduisant parfois à un ou deux articles. Les rapports des longueurs cerques/paracerque sont parfois liés au sexe, parfois spécifiques, constituent alors un critère en systématique.

Les orifices génitaux des mâles sont situés à l'extrémité de deux évaginations des lobes péniens, qui sont indépendants ou fusionnés et ancrés entre les sternites IX et X. En arrière de ces pénis, s'insère une paire de forceps, tri-, bi- ou mono articulés, servant à tenir la femelle lors de l'accouplement. À leurs bases s'érige chez les formes primitives, une paire de gonostyles, articulés ou non, absents chez les formes évoluées. La forme et la structure des genitalia mâles ont une grande importance en systématique.

Chez la femelle, l'orifice de ponte est constitué d'une paire d'orifices, couverts ou non, par une plaque subgénitale ou non, située entre les VIIe et VIIIe sternites abdominaux. Parfois, mais rarement, les sternites abdominaux sont modifiés pour constituer un ovipositeur rudimentaire.

L'imago est issue de la subimago après une mue. Elle lui ressemble beaucoup. On notera cependant quelques différences. D'une part, l'absence de toute phanère du fait de cette pseudo mue. D'autre part, les ailes de l'imago sont hyalines alors que celles de la subimago sont souvent opaques et laiteuses. Enfin, les différents appendices (pattes, ailes, genitalia) sont légèrement plus volumineux chez l'imago. On notera également qu'il peut y avoir des différences de coloration entre les deux stades, par perte ou acquisition de couleurs chez l'imago par rapport à la subimago.

2. BIOLOGIE ET ECOLOGIE

Les stades aquatiques d'Éphémères sont strictement inféodés aux eaux douces rhithriques et lentiques, ne colonisant qu'exceptionnellement les milieux saumâtres ou salés. On les rencontre depuis les sources, les ruisselets jusqu'aux grandes rivières et fleuves ainsi que dans les mares, les étangs et les lacs ; la plus grande richesse se rencontre dans les milieux d'eau courante.

2.1. ÉCOLOGIE DES ŒUFS

Les œufs sont généralement déposés à la surface de l'eau, à l'unité ou en petit nombre, parfois en paquets. Certains Baetidae s'immergent exceptionnellement pour pondre leurs œufs dont la majorité sont munis de systèmes d'ancrage mécaniques ou chimiques (mucilages), pour, une fois immergés, s'accrocher aux différents substrats (feuilles, rochers, galets, bois morts), afin de ne pas dériver sur de trop longues distances par le courant.

2.2. ÉCOLOGIE DES LARVES

Les larves subissent de nombreuses mues, allant d'une dizaine à une quarantaine. Aucune donnée n'existe à ce jour concernant les espèces malgaches. Les durées de développement citées dans la littérature varient entre trois et six mois, parfois moins, atteignant plus de deux ans chez certaines espèces d'eaux très froides, arctiques ou alpines. Elles s'allongent généralement avec la diminution de la température. Là encore aucune donnée n'existe concernant les espèces malgaches. On peut cependant estimer entre trois et quatre mois la durée de développement de la majorité des espèces à l'exception des Ephemeroidea pour lesquels elle serait d'une année parfois de deux. Ceci reste à confirmer par des études précises.

À Madagascar, les espèces sont monovoltines (cas de la majorité des Ephemeroidea), bi- ou plurivoltines ; il semblerait que la majorité soit bivoltine, avec un cycle durant la saison des hautes eaux et un autre durant l'étiage. Cependant, ceci reste à préciser, genre par genre et espèce par espèce.

Le régime alimentaire des larves est varié. Les Éphémères peuvent être brouteurs (herbivores), filtreurs (détritivores), ou encore prédateurs (carnivores),... Les larves d'Éphémères font partie du benthos, toutefois leur localisation dans le milieu aquatique dépend de leur adaptation et de leur préférence trophique. Ainsi, si les Ephemeroidea sont des fouisseurs, la majorité des autres espèces vivent sur ou sous les rochers, quelques unes sur d'autres substrats telles les plantes aquatiques. Là encore, l'échantillonnage des larves dépendra de la connaissance de l'écologie des taxons.

2.3. ÉMERGENCE

À Madagascar, la majorité des espèces émergent tout au long de l'année, avec des périodes préférentielles au début et à la fin de la saison des pluies. Les Ephemeroidea se distinguent encore de ce schéma puisque leurs émergences n'ont lieu que durant des périodes très limitées dans l'année, réduites à une ou deux semaines, voire sont parfois complètement synchrones durant une à deux nuits.

En zone intertropicale, la majorité des adultes d'Éphémères ont une activité crépusculaire ou de début de nuit. Les Caenidae font exception ; leur période d'activité privilégiée a lieu en fin de nuit, juste avant le lever du soleil. Enfin, certaines espèces, telles les espèces de Leptophlebiidae du genre *Nesophlebia* ou certains Baetidae (*Cloeon, Nesoptiloides*), ont une activité reproductrice en plein jour. L'éthologie de la famille ou du genre aura donc une conséquence sur les méthodes et les horaires de capture qui devront en tenir compte, faute de quoi certains taxons ne seront point correctement échantillonnés.

Les adultes émergeants, appelés subimagos, subissent une pseudo mue, qui n'est en réalité qu'un délitement de leur épiderme ; ce phénomène est le seul cas connu chez les Insectes Ptérygotes. La subimago en muant donne une imago sexuellement mature. La mue imaginale se fait soit quasiment instantanément (Caenidae, Tricorythidae, Oligoneuriidae, Ephemeroidea), soit après une à deux heures (Baetidae, Teloganodidae). Les Heptageniidae font exception puisqu'elles mettent un à trois jours pour passer de la subimago à l'imago. La vie imaginale est généralement très courte, variant de quelques dizaines de minutes (Caenidae, Tricorythidae) à quelques heures. Les mâles meurent juste après l'unique accouplement ; les femelles meurent après la fin de la ponte. La brièveté de cette vie d'adulte a engendré plusieurs adaptations, dont l'absence de prise de nourriture entraînant l'atrophie des pièces buccales, devenues non fonctionnelles et quasiment obsolètes, ainsi que l'absence de tube digestif. Les adultes sont réduits à des sacs ailés chargés d'assurer la reproduction sexuée ou parthénogénétique, en transportant sperme et œufs.

La courte vie imaginale a pour autre conséquence un faible pouvoir de dissémination des espèces qui ne s'écartent que peu ou pas des collections d'eau et n'entreprennent pas de vol migratoire. Donc, chez ces Insectes, pour qui les bassins constituent souvent des îles biologiques, une migration à travers le canal du Mozambique par exemple, est très improbable. De ce fait, ce groupe constitue un excellent matériel pour les études de paléobiogéographie.

Selon les genres et espèces, les mâles volent en constituant des essaims d'accouplement dans lesquels se rendent les femelles pour être fécondées. Toutefois, certains groupes ne pratiquent pas cette stratégie. Les femelles des Tricorythidae, par exemple, remontent les cours d'eau et les mâles les rejoignent pour s'accoupler. Certaines espèces sont partiellement ou totalement parthénogénétiques.

3. ENNEMIS ET RISQUES

3.1. ÉNNEMIS

Les Éphémères ne présentent apparemment aucun intérêt économique notable du fait qu'ils ne transmettent aucune maladie susceptible de nuire à l'homme, au bétail ou aux cultures. Ils ne sont pas plus des ravageurs des productions agricoles. L'étude et la conservation de cet Ordre d'Insectes n'a donc ni la faveurs des économistes, ni celles des environnementalistes. Ce ne sont en fait que des maillons du réseau trophique intervenant dans la décomposition et la transformation des nutriments ou comme proies pour des prédateurs. En conséquence, leur disparition en masse des rivières perturberait la structure des peuplements benthiques et plus notablement encore, les chaînes trophiques.

Pour l'écologiste, ces Insectes présentent tout de même un intérêt pragmatique, puisqu'ils sont généralement assez sensibles aux perturbations du milieu et notamment aux pollutions, ce qui en fait de bons indicateurs de l'état de santé des écosystèmes aquatiques.

Enfin, certaines Familles malgaches d'Éphémères contiennent des espèces très originales de par leur taille, leur archaïsme ou leur comportement, enrichissant de ce fait le patrimoine biologique de la Grande Île.

Les larves ont pour prédateurs les Insectes (Coléoptères, Plécoptères, Mégaloptères, Éphémères, Trichoptères, Odonates,...), certains Arachnides, les Batraciens ou encore certains Poissons entomophages. De façon anecdotique, les Éphémères sont consommés par les humains. Ainsi, dans le bassin Mangoro, les larves d'Oligoneuriidae sont récoltées en masse par les pêcheurs, avant leur émergence et vendues en tant que " crevettes " sur les marchés. Les adultes sont la proie des Oiseaux, des Araignées tisseuses de toile, des Odonates, etc., et à l'émergence, de certains Poissons.

3.2. RISQUES

Les pollutions d'origine anthropique étant peu importantes à Madagascar, la déforestation constitue de ce fait le risque majeur engendrant la disparition de nombreuses espèces d'Éphémères, par modification des qualités physico-chimiques des eaux (température, oxygénation, transport solide, charriage, perte d'apport exogène, développement d'algues, etc.). Il est fort probable que la majorité des espèces vivant dans les cours d'eau abrités sous les forêts pluviales de la côte orientale de l'île, disparaissent d'ici vingt à trente ans, du fait de la déforestation intense qui y est pratiquée. Or, c'est dans ces forêts que la diversité de ce groupe est maximale. La raréfaction de cet Ordre d'Insectes dans les cours d'eau aura soit de graves conséquences sur le maintien d'autres maillons de la chaîne alimentaire situés en aval du réseau trophique, soit engendrera des remplacements de taxons et des modifications de la biomasse (ce que nous n'avons pas encore prouvé). En tout état de cause, l'équilibre originel sera fortement modifié. La modification des berges des rivières par empierrement, attente également à la survie des Éphémères Palingeniidae. Notons également que l'utilisation de plus en plus fréquente d'ichtyotoxiques, d'origine végétale ou de synthèse, est catastrophique pour les populations d'Éphémères. L'introduction de Poissons phytophages tels les *Tilapia* dans les milieux lentiques, nuit également aux populations d'Éphémères, en causant la disparition des biotopes herbacés.

4. RICHESSE ET ENDEMICITE

La faune éphéméridienne de Madagascar était très peu connue avant 1990. Moins de vingt taxons ont été signalés par des auteurs tels que LATREILLE (1833), NAVÀS (1926) ou DEMOULIN (1973). Le démarrage du programme *Biodiversité et biotypologie des eaux continentales de Madagascar* a complètement changé la connaissance de ce groupe dans la Grande Île.

De par le monde, 28 familles sont répertoriées pour cet Ordre (Sartori *et al.*, 2000), seules dix d'entre elles sont présentes sur la Grande Île. Toutes les familles africaines sauf les Leptohyphidae (genre *Ephemerythus*) sont présentes à Madagascar. En revanche, la famille des Palingeniidae présente sur l'île est absente du continent africain. Aucune famille endémique n'a été trouvée à Madagascar.

L'Ordre des Éphémères à Madagascar comprend 42 genres décrits et en cours de description (cf. § 8), ce qui est faible comparé aux 73 de l'Afrique subsaharienne. Toutefois 24 genres sont endémiques de Madagascar (57 %), chiffre élevé pour ce niveau taxinomique. La proportion de cet endémisme varie beaucoup avec les familles. Dix-huit genres sont partagés avec l'Afrique, deux avec l'Asie (*Tricorythus* et *Thalerosphyrus*) et cinq avec le monde dont l'Afrique (*Caenis, Cloeodes, Cloeon, Labiobaetis,*

Prosopistoma). L'écart générique entre Madagascar et le continent est de 79 genres.. Toutefois, soulignons que certaines familles malgaches importantes telles les Leptophlebiidae, n'ont point encore été étudiées. Cette dernière comprend aux moins une quinzaine de genres.

À ce jour, plus de deux cents espèces nouvelles ont été récoltées et, parmi celles-ci, seules 103 ont fait l'objet d'une description (cf. § 8). On conçoit donc que la systématique des Éphéméroptères de Madagascar est loin d'être terminée. Sur les 103 espèces répertoriées, 100 sont endémiques, soit un taux d'endémicité de plus de 99 % ; *Cloeon smaeleni* étant la seule espèce non endémique, largement réparti en Afrique subsaharienne. Cette forte endémicité aussi bien générique que spécifique est due au fait que les Éphémères sont de mauvais voiliers et que la durée de leur phase imaginale est très courte, ce qui empêche toute migration par voie aérienne. La fragilité des larves rend également toute migration impossible dans des collections d'eau douce transportées par voie maritime.

5. RECOLTE ET CONSERVATION

La récolte des larves se fait en prospectant les différents types de substrats susceptibles de les héberger. Pour la majorité d'entre elles, le filet troubleau constitue le meilleur instrument de capture. La récolte des larves de Palingeniidae et d'Ephemeridae est plus délicate et demande le prélèvement de limon ou d'argile dans lesquels leurs larves fouissent.

La récolte des adultes se fait essentiellement au moyen du piège lumineux, en début de nuit pour l'ensemble des familles et en fin de nuit pour les Caenidae et Palingeniidae. Les récoltes au filet constituent un élément important pour capturer les mâles qui essaiment de jour (Leptophlebiidae *Nesophlebia*, Tricorythidae *Spinirythus*, Baetidae *Afroptiloides*).

6. SYTEMATIQUE

Les Éphémères sont divisés en deux sous-ordres : les Schistonnotes et les Pannotes. Le premier, considéré comme plus primitif comprend les formes aux larves dont les fourreaux alaires sont disjoints, le second, plus évolué a ses fourreaux alaires fusionnés s'étendant vers l'arrière pour former un bouclier de protection, partiel ou total. Les différentes familles appartenant à ces deux sous-ordres sont :

SCHISTONNOTES	PANNOTES
Oligoneuriidae	Tricorythidae
Leptophlebiidae	Caenidae
Palingeniidae	Prosopistomatidae
Ephemeridae	Teloganodidae
Polymitarcyidae	
Baetidae	
Heptageniidae	

La systématique des Éphéméroptères est actuellement uniquement fondée sur la morphologie. Chez l'imago, la nervation alaire, la forme de la tête et surtout des yeux, sont caractéristiques des rangs supraspécifiques, les formes des genitalia mâles permettent l'identification des espèces. Notons qu'il est très difficile de déterminer les subimagos au niveau spécifique car les caractères d'identification sont souvent masqués et comprimés par les téguments.

La systématique des larves s'appuie sur la morphologie des pièces buccales ainsi que sur la chétotaxie des pattes et la structure des branchies. Ces caractères sont particulièrement utilisés en ce qui concerne les Baetidae, les Leptophlebiidae et les Heptageniidae. Ils sont plus difficiles à utiliser pour les Ephemeroidea et les Oligoneuriidae.

6.1. CLE DES LARVES D'ÉPHEMERES MALGACHES

1 - Forme générale discoïde en vue dorsale, les ptérothèques mésothoraciques fusionnées en un bouclier qui cache entièrement les trachéobranchies ..... **Prosopistomatidae**

- Forme générale autre, les trachéobranchies toujours au moins partiellement visibles du dessus. 2

2 - Mandibules portant une défense formée par une longue apophyse. Trachéobranchies II-VII bifides frangées de cæcum. 3

- Mandibules sans défense. 5

3 - Tibia des pattes postérieures à bord ventral terminé apicalement en pointe aiguë ; labium et palpes sur un même plan. ..... **Ephemeridae**

- Tibia des pattes postérieures autrement formé ; palpes labiaux rapprochés voire contigus, situés sous le labium et perpendiculaires à celui-ci. 4

4 - Défenses mandibulaires de longueur inférieure à celle de la tête; un soc frontal plus large à l'apex qu'à la base. ..... **Palingeniidae**

- Défenses mandibulaires dépassant la longueur de la tête ; soc frontal, si présent, à base plus large que l'apex. ..... **Polymitarcyidae**

5 - Trachéobranchies II operculaires ou sub-operculaires. 7

- Trachéobranchies II autres 8

7 - Trachéobranchies II quadrangulaires, contiguës ou se chevauchant partiellement. ..... **Caenidae**

- Trachéobranchies sub-operculaires non quadrangulaires et non contiguës avec un recouvrement des trachéobranchies III-VII seulement partiel 6

6 - Trachéobranchies I réduites à un bâtonnet mais présentes ; les autres trachéobranchies lamellaires présentes au moins sur II-IV. ..... **Teloganodidae**

- Trachéobranchies I absente. Les autres trachéobranchies disposées en tuiles sous la II. .... **Tricorythidae**

8 - Trachéobranchies des segments médians fourchues, divisées à l'apex, lancéolées ou bilamellaires avec projections ou franges de caecum, rarement monolamellaires entières et, dans ce cas, tête déprimée. ..... **Leptophlebiidae**

- Trachéobranchies autres : la plupart souvent monolamellaires entières, pouvant recouvrir éventuellement un touffe de caecums ; parfois bilamellaires. Lamelles jamais découpées, dépourvues de projection et de frange. 9

9 - Une touffe dense de branchies sanguines sur la base des palpes maxillaires. Trachéobranchie I ventrale, II-VII dorsales, constituées d'une lamelle protégeant une touffe de caecum. ..... **Oligoneuriidae**

- Palpes maxillaires sans épaisse touffe de branchies sanguines. Toutes les trachéobranchies semblablement disposées (généralement dorsales ou latéro-dorsales, exceptionnellement latéro-ventrales). 10

10 - Corps déprimé, tête déprimée, transverse, très large, cachant les pièces buccales. Trachéobranchies dorsales, monolamellaires avec une touffe inférieure de caecum ; soies rares ou absentes sur la marge interne des cerques ..... **Heptageniidae**

Corps peu ou pas déprimé ; tête subortho- ou orthognathe, moins large que le mésothorax. Trachéobranchies plus ou moins ovalaires à lamelles simples éventuellement pourvue d'un repli dorsal ou ventral, ou bilamellaire ; soies abondantes sur la marge interne des cerques et sur les deux marges du paracerque s'il est présent. ..... **Baetidae**

6.2. CLE DES ADULTES

1 - Ailes entièrement dépourvues de nervules transverses ; les antérieures à nervures MA_2 et IMA indépendantes de MA_1 et issues de la base ; les postérieures peu développées mais présentes. Pattes réduites. ..... **Prosopistomatidae**

- Ailes montrant toujours au moins un certain nombre de nervules transverses ; les antérieures MA_1 et MA_2 généralement unies à leur base et formant une fourche qui encadre IMA, sinon IMA et MA_2 naissant indépendamment à mi-longueur de l'aile. 2

2 - Ailes antérieures à CuA (= CuA_1) sinueuse, de même que souvent MP_2 et CuP. 3

- Ailes antérieures à CuA (= CuA_1) rectiligne ou plus ou moins incurvée, mais jamais sinueuse. 5

3 - Ailes membraneuses, laiteuses ou brunâtres, plus ou moins translucides, non maculées. 4

- Ailes transparentes ou colorées, pouvant porter des macules foncées. Nervules transverses généralement plus serrées vers la marge externe que vers la base. ..... **Ephemeridae**

4 – Ailes à nervures longitudinales toujours géminées, au moins dans les champs de RS et de MA ; des ICuA. Paracerque vestigial. ..... **Palingeniidae**

- Ailes à nervures longitudinales non géminées.. ..... **Polymitacyiidae**

5 – Nervures longitudinales géminées de façon si étroites qu'elles se superposent deux à deux. ..... **Oligoneuriidae**

- Nervures longitudinales non géminées. 6

6 - Ailes antérieures à IMA et MA_2 indépendantes de MA_1, naissant à mi-longueur de l'aile ; nervules transverses présentes mais peu nombreuses ; des nervules marginales simples ou doubles entre les nervures principales. Ailes postérieures réduites ou absentes. Mâle avec des yeux en turban. ..... **Baetidae**

- Ailes antérieures à MA_1 et MA_2 formant une fourche ; IMA généralement présente.7

7 – Ailes postérieures à MA bifides ; ailes antérieures avec deux paires d'ICuA, la première plus courte que la seconde. ..... **Heptageniidae**

– Ailes postérieures à MA simple ou absente ; aile antérieure à éventuelles ICuA jamais disposées en deux paires dont la première est la plus courte. 8

8 – Ailes antérieures avec de courtes nervules marginales indépendantes et une plus longue, intercalaire, entre MP_2 et CuA_1. ..... **Teloganodidae**

- Ailes antérieures généralement sans nervure marginale (parfois marginales courtes, doubles) ; pas d'intercalaires entre MP_2 et CuA_1. 9

9 – Ailes postérieures généralement présentes, quoique parfois réduites ; ailes antérieures à ICuA en nombre variable, nervules transverses nombreuses ou très nombreuses. ..... **Leptophlebiidae**

- Ailes postérieures souvent absentes. Ailes antérieures à nervures transverses peu nombreuses ou rares. 2 ICuA. 10

10 – Ailes antérieures à première ICuA reliée directement par sa base à CuP, qui est brusquement coudée en ce point ; l'ensemble forme une large fourche à laquelle la 2e ICuA forme intercalaire. ... **Tricorythidae**

- Ailes antérieures à CuP régulièrement courbée, première ICuA reliée à CuA. Ailes postérieures absentes. Paracerque développé. ..... **Caenidae**

Au cours du programme, l'équipe de Lausanne s'est intéressée à la classification obtenue en se fondant sur la forme et la structure des œufs observés au microscope électronique. Des résultats intéressants ont été obtenus avec les œufs des *Proboscidoplocia* (Polymitarcyidae) (SARTORI *et al.*, 1999), des *Cheirogenesia* (Palingeniidae) (SARTORI & ELOUARD, 1999) et des Tricorythidae (OLIARINONY, 2000 ; OLIARINONY *et al.*, 2000). Cette méthode présente un intérêt certain mais n'est pas à la portée de tous les laboratoires. R. Oliarinony a fait un séjour de deux années en Suisse et a pu apprendre cette technique.

6.3. FAMILLES

6.3.1. Polymitacyidae

Cette famille n'est représentée à Madagascar que par le genre *Proboscidoplocia,* strictement endémique de l'île.

La famille se rencontre partout dans le monde sauf dans la région australasienne. Les palpes maxillaires et labiaux des larves de *Proboscidoplocia* sont composés de trois segments. Les mandibules sont armées de défenses extraordinairement développées dirigées vers l'avant, convergentes et terminées par une pointe acérée. Ces défenses sont dépourvues de crénelage et de tubercule (Figure 4). Les branchies sont latérales et composées de deux lamelles fines frangées de cæcum. La première paire de pattes est beaucoup plus longue que les autres. Cerques et paracerques sont présents, moyennement développés.

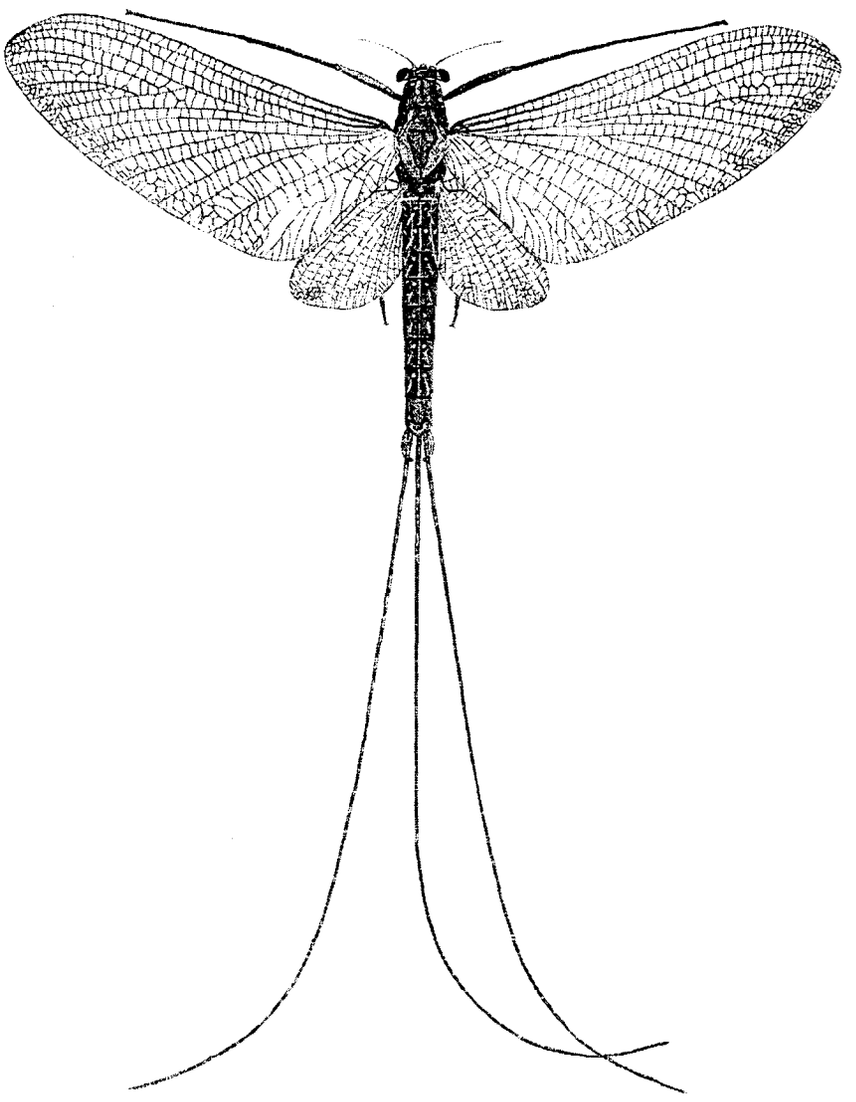


Figure 3 – Imago mâle de *Proboscidoplocia* sp. (Polymitarcyidae).
Dessin M.A. VAYSSIERE.

Les adultes ont des ailes bleu noir, pourvue de très nombreuses nervures intercalaires délimitant de nombreuses cellules (Figure 4). Les nervures MP_2 et CuA très divergentes de la MP_1 à la base. Les pattes P2 et P3 des mâles sont vestigiales ainsi que les trois paires de pattes des femelles. Les forceps sont longs,

composés de deux articles. Les pénis sont globalement en forme d'ancre, soudés à la base, sur une longueur variable. Cerques et paracerque sont présents, beaucoup plus développés chez les mâles que chez les femelles.

Les *Proboscidoplocia* sont les plus grands Polymitarcyidae et les plus grands Éphémères du monde (ELOUARD & SARTORI, 1997), les femelles pouvant atteindre 7 cm hors cerques. Les larves sub-fouisseuses, vivent dans le sable, sous les rochers situés dans le courant. C'est de ce fait l'Ephemeridae le plus rhéophile jamais découvert. L'adaptation au courant et à la vie sous les rochers se traduit par un aplatissement dorso-ventral et l'absence de creusement de tubes en U, typiques des Ephemeroidea. Le fouissement interstitiel se fait grâce au développement extraordinaire des défenses mandibulaires dont elles se servent à la fois comme pelle pour soulever verticalement le sable et pour l'écarter latéralement. Au repos, les larves se tiennent à l'envers, accrochées sous les rochers.

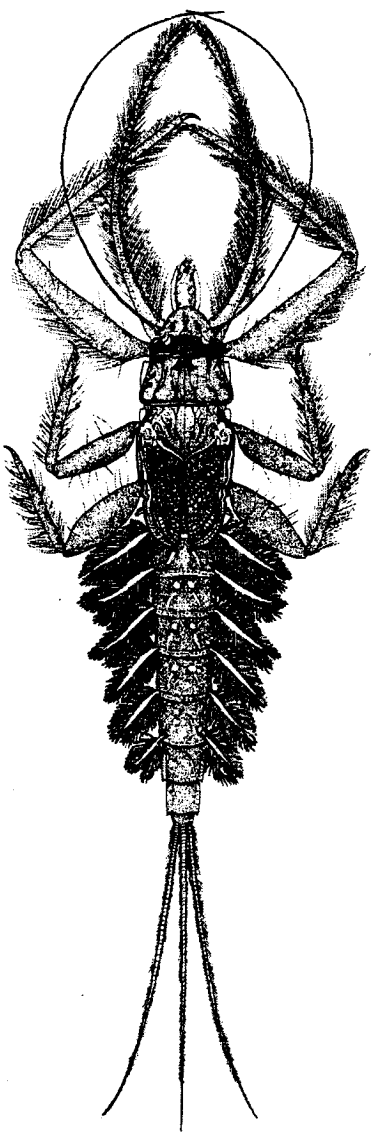


Figure 4 – Larve de Proboscidoplocia sp. (Polymitarcyidae).
Dessin M.A. VAYSSIÈRE.

L'émergence des adultes est synchrone pour chacune des espèces mais l'époque diffère selon que l'on a affaire à des espèces de forêt ou de savane. Les espèces de forêt *(P. sikorai, P. vayssierei)* émergent en novembre, celles de savane *(P. ruffieuxae, P. leplattenierae)* aux mois de mars et avril. La seule exception semble être *P. mccaffertyi* qui est forestière et émerge en mai.

La distribution géographique montre que le genre est distribué essentiellement sur le versant oriental de l'île et sur les Hautes Terres bien que quelques rivières des hauts bassins de l'Ouest dont le bassin Betsiboka, abritent certaines espèces (Fig. b). Cette distribution dépend des espèces. Ainsi :

- *P. billi* est limité aux forêts pluviales situées au-dessus de 1200 m d'altitude sur les contreforts est du massif de l'Andringitra (GIBON et al., 1996) (Fig. d);

- *P. vayssierei* semble avoir une aire de répartition tout le long de la côte est, à des altitudes inférieures à celles colonisées par *P. billi* c'est-à-dire entre 750-1200 m (GIBON et al., 1996; SARTORI et al., 1999) (Fig. i);

- *P. ruffieuxae* est une espèce savanicole que l'on retrouve à la fois dans les savanes de l'Est et de l'Ouest, à des altitudes variant du niveau de la mer à 800 m (ELOUARD & SARTORI, 1997; SARTORI et al., 1999) (Fig. h);

- *P. leplattenierae* présente une écologie similaire à *P. ruffieuxae*, mais semble restreinte aux savanes des contreforts de la Montagne d'Ambre (ELOUARD & SARTORI, 1997) (Fig. e).

- *P. maccaffertyi* est limité au bassin de la Manampanihy, colonisant les petits ruisseaux de forêt d'altitude (ELOUARD *et al.*, 1999) (Fig. g).

Toutefois les connaissances actuelles sur les deux espèces suivantes sont encore trop fragmentaires : l'espèce *P. auberti* n'a été trouvée que dans une seule localité du bassin du Rianila (ELOUARD & SARTORI, 1997) (Fig. c). Elle pourrait être une espèce forestière de basse altitude, restreinte à la côte est ; l'espèce *P. magdeleinae,* connue d'une seule station de la Montagne d'Ambre, serait l'espèce forestière de cette " île géographique " (ELOUARD & SARTORI, 1997) (Fig. f).

Si les mâles de *Proboscidoplocia* ont été récoltés dans peu de localités du fait d'une durée très limitée de leur période d'émergence, des femelles et de très nombreuses larves provenant de plusieurs localités ont été capturées. À l'examen de la carte générale de distribution du genre à Madagascar, on peut conclure à propos de sa biogéographie, que le genre est présent sur toute la côte orientale, et colonise quelques rivières d'altitudes des hauts bassins de la côte occidentale. On constate également que la distribution de chaque espèce est restreinte à un bassin ou un groupe de bassin, à l'exception de *P. ruffieuxae* et *P. vayssierei,* qui, plus savanicoles, semblent avoir une plus large répartition géographique.

Toutefois, malgré ces récoltes abondantes, il nous est encore actuellement difficile de préciser complètement l'écologie du genre ainsi que ses préférendum. Toutefois, l'on sait que la taille des rivières, traduite par le débit, varie de quelques litres par seconde à plus de 40 $m^3.s^{-1}$ et la température des eaux dans lesquelles les spécimens larvaires furent récoltés, varie de 14 à 27°C. Il y a donc de fortes variations du débit et des températures de l'eau des rivières habitées par les larves de *Proboscidoplocia* néanmoins, il est certain, que seuls les cours d'eau possédant un lit composé d'un substrat formé de rochers, de cailloux et de galets posés sur du sable, sont propices au développement des larves.

Le type de biome inclut la forêt primaire (Andringitra, Marojejy) et les steppes herbeuses de l'Est ainsi que la forêt secondaire. De ce fait, on retrouve le genre aussi bien dans les petites rivières aux eaux claires des forêts de l'Est, d'altitude ou de plaine, que dans des rivières turbides du versant occidental ou du piedmont de l'Est. Les seules régions malgaches où l'on n'ait pas retrouvé de *Proboscidoplocia* sont celles du Sud-ouest, région dans laquelle les cours d'eau sont chauds, sablonneux et souvent temporaires ainsi que dans les fleuves des plaines côtières du grand Ouest où les cours d'eau sont de type potamique avec substrat sablonneux dépourvu de caillou.

Remarquons que si certaines espèces sont savanicoles cela tend à prouver que de grandes zones sans forêt ont toujours existé à Madagascar. Dans ces zones les eaux sont beaucoup plus turbides du fait d'une érosion intense des bassins versants. Elles sont également plus chaudes de quelques degrés du fait de l'absence de couvert végétal. Rappelons que l'effet conjugué de ces deux facteurs engendre également une moindre oxygénation des eaux. L'adaptation de ces espèces à ces conditions fort différentes de celles régnant dans les rivières forestières - c'est-à-dire plus froides, moins turbides et mieux oxygénées - remonte bien avant la colonisation humaine et donc bien avant son action de déforestation.

6.3.2. Ephemeridae

Les larves possèdent des défenses mandibulaires bien développées, se projetant en avant de la tête et courbées vers l'extérieur et le haut. Ces défenses sont dépourvues de tubercule et dent. Le corps est cylindrique et les branchies sont disposées dorsalement. La branchie 1 est vestigiale, les branchies II-VII sont bifides avec des bords frangés. Les pattes sont fouisseuses, surtout la prothoracique dont le tibia est élargi en pelle. Les cerques et paracerque sont présents et frangés de soies ; ils sont moyennement développés.

Les adultes mâles sont des Insectes très élégants et élancés, les femelles sont plus trapues. Les yeux des mâles et des femelles sont latéraux, de taille moyenne et identiques chez les deux sexes. Les pattes sont toutes fonctionnelles et bien développées. Les ailes sont primitives, composées de nombreuses cellules délimitées par les nervures longitudinales et de très nombreuses nervules transverses (Figure 6).

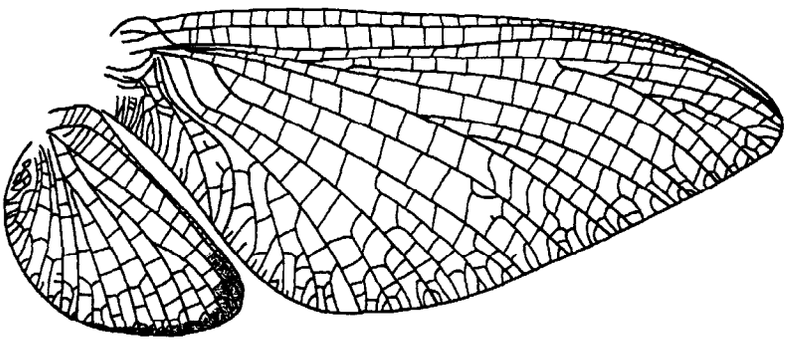


Figure 5 – Ailes d'*Eatonica luciennae*. *Dessin J.-M. ELOUARD.*

Les ailes antérieures possèdent des nervures MP_2 et CuA très divergentes à la base, de la MP_1. Les forceps sont composés de deux articles : le basal est long, l'apical petit et sphérique. Les cerques et paracerque sont présents chez les deux sexes ; ils sont très longs chez les mâles.

La famille des Ephemeridae n'est représentée à Madagascar que par le genre *Eatonica* Navàs, 1913, riche, actuellement, de trois espèces décrites, qui semblent présenter un microendémisme élevé. Le genre *Eatonica* est aussi présent dans toute l'Afrique subsaharienne où il est également riche de trois espèces, différentes des malgaches. Il est absent du reste du monde ce qui souligne encore une fois les affinités entre les faunes éphéméridiennes africaine et malgache.

Le genre *Eatonica* comprenait l'unique espèce *E. josettae* (DEMOULIN, 1966) trouvée sur une rivière de la Mandraka sur le bassin de Mangoro, localisation de la récolte historique. Cette espèce n'a jamais été retrouvée depuis lors. Notons que les berges de cette rivière de la Mandraka, ont été fortement aménagées en tant qu'exutoire du Lac Mantasoa. Si l'espèce *E. josettae* n'a pas été retrouvée, deux autres espèces d'*Eatonica* vivent en sympatrie dans la région d'Anjozorobe (ELOUARD *et al.*, 1998) : *E. denysae* Elouard & Sartori, 1998 (Fig. k) et *E. luciennae* Elouard & Oliarinony, 1998 (Fig. l).

Ces trois espèces sont pour le moment les plus grands *Eatonica* du monde, genre le plus grand d'Afrique. Les femelles, plus grandes que les mâles, atteignent 5 cm hors cerques. L'espèce *E. denysae* se singularise en étant non seulement la plus grande de toutes mais également en ayant les ailes antérieures et postérieures entièrement roses.

Les larves des *Eatonica* malgaches vivent dans les zones au courant lent des petits ruisseaux clairs de forêt primaire, enfouies dans les limons dans lesquels elles creusent des tubes verticaux en U dont les deux extrémités abouchent en surface. Comme pour la plupart des Ephemeroidea, la circulation de l'eau, qui assure l'oxygénation et l'apport de nourriture, est engendrée par des mouvements ondulatoires du corps et des branchies. L'émergence a lieu au mois de novembre. Elle est synchrone pour l'ensemble des imagos qui émergent durant seulement quelques jours par an.

D'autres larves de ce genre, non identifiables pour le moment, au niveau spécifique, ont été récoltées, l'une au Sud-est, dans le massif de l'Andringitra, bassin du Manampatrana, d'autres, au centre de l'île, dans le haut bassin du Mangoro sur le massif de l'Ankaratra et quelques unes, au Nord, dans la Réserve Intégrale de

Marojejy (Fig. j). Ces récoltes ont toujours eu lieu dans des zones de forêt primaire de moyenne altitude. Vu le microendémisme général qui règne dans les zones forestières de Madagascar, il est fort probable que d'autres espèces d'*Eatonica* restent à découvrir.

En Afrique continentale existent trois genre d'Ephemeridae : *Eatonica, Afromera* et *Ephemera.*

6.3.3. Palingeniidae

Les Palingeniidae sont connus de l'Eurasie, de la nouvelle Guinée et de Madagascar. Un seul genre, strictement endémique, compose cette famille dans la Grande Île. Il s'agit du genre *Cheirogenesia* Démoulin, 1952. Cette famille absente d'Afrique continentale, est présente en Asie et en Europe.

Les larves sont globalement cylindriques. Leurs défenses mandibulaires sont bien développées et plus ou moins aplaties. Elles sont armées de dents sur leur côté externe. Les pattes sont fouisseuses. Les branchies sont dorsales, protégées par-dessous, par des expansions latérales de l'abdomen. Celle du segment I est réduite. Celles des segments II-VII sont allongées et frangées de courtes soies.

Les mâles ont de gros yeux. Ceux des femelles sont plus petits. Les ailes antérieures des *Cheirogenesia* présentent deux caractéristiques originales : leurs nervures sont géminées comme celles des autres Palingeniidae, des Oligoneuriidae et des Benhingiidae, traduisant un Éphémère évolué ; le bord postérieur de l'aile antérieure est ondulé à la façon des ailes de chauves-souris, ce qui les a fait nommer *Cheirogenesia.* Les mâles et les femelles, présentent un brachyptérisme notable qui les rend inaptes au vol, fait unique chez les Éphéméroptères. La fécondation se fait à la surface de l'eau où mâles et femelles hydroglissent pour se rencontrer. Ce comportement original est possible grâce à la modification de la forme et taille de l'aile ainsi qu'à certaines modifications physiologiques (RUFFIEUX *et al.,* 1998). Les forceps sont de deux segments.

Avec les travaux récents, le genre *Cheirogenesia* a subi le même sort que les genres *Eatonica* et *Proboscidoplocia.* De monospécifique, il est passé à trois espèces (SARTORI & ELOUARD, 1999).Comme les larves des autres genres de Palingeniidae (*Palingenia, Mortogenesia,...*), les larves de *Cheirogenesia* colonisent les berges des rivières et fleuves à courant lent (zones potamiques de sédimentation) où elles sont strictement inféodées à un substrat argilo-limoneux. Telle la majorité des Ephemeroidea, elles creusent des tubes en U, le plus souvent horizontaux et perpendiculaires à la berge. Dans les grandes rivières, les larves sont localisées en colonies grégaires importantes. Dans les petites rivières, les colonies sont de petites tailles, mais réparties en de nombreux sites. Les trous des larves de Palingeniidae sont creusés dans la partie extérieure des courbes des méandres, partie exposée au courant et donc soumise à l'érosion. Avec leur multitude de tubes en U d'une dizaine de centimètres de profondeur et d'un centimètre de diamètre, ces larves transforment les berges en " gruyère " et de ce fait, contribuent largement à leur fragilisation. Plus le méandre est prononcé, plus elles s'y plaisent et donc s'installent en nombre, fragilisant la berge et de ce fait accélèrent l'érosion et le creusement du méandre. Ce rôle dans l'évolution de la physionomie des cours d'eau est certainement plus important qu'on ne l'avait soupçonné jusqu'alors. Il faut remarquer qu'à Madagascar, sur les Hautes Terres, il existe des pénéplaines à travers lesquelles les rivières présentent des zones potamiques identiques en structure, méandre et faune, à celles des cours inférieurs des fleuves. Nous les avons reconnues comme *zones potamiques d'altitude*. Plusieurs espèces de *Cheirogenesia* malgaches colonisent ces zones. Notons que lorsque les berges sont trop exondées, les larves peuvent résister en fouissant, telle les *Eatonica*, dans les limons horizontaux du lit mineur.

Comme pour la plupart des autres Ephemeroidea, les émergences sont synchrones, ne durant que quelques jours par an. Elles ont lieu à l'aube, ce qui diffère de celles des autres Ephemeroidea qui sont crépusculaires. De plus, dans cette famille, il n'y a pas formation d'essaims aériens de fécondation par les mâles, essaims dans lesquelles les femelles viennent se faire féconder, mais une recherche active des femelles par les mâles. Pour ce faire, les mâles de cette famille, à l'exception de ceux de *Cheirogenesia*, effectuent un vol de patrouille horizontal au-dessus de l'eau et se précipitent sur les femelles émergentes. Ce comportement se retrouve chez les *Cheirogenesia*, modifié par le fait qu'*ils ne volent pas*. Les mâles patinent à la surface de l'eau, se déplaçant tels des hydroglisseurs ; leurs ailes leur servant de propulseur. Après leur mue subimaginale, ils recherchent, activement et à vue, les femelles pour les féconder, en patinant très rapidement sur l'eau. Les femelles hydroglissent de même, jusqu'à ce qu'elles soient fécondées (RUFFIEUX *et al.*, 1998).

Malgré un comportement similaire, la distribution des diverses espèces et leur phénologie varient considérablement.

C. decaryi (Navàs, 1926), la seule espèce décrite avant que ne débute ce programme, a été trouvée dans de nombreuses localités sur l'Ikopa dans la région d'Antananarivo ainsi que sur le cours principal de la Betsiboka ; cette espèce est l'une des composantes les plus caractéristiques des zones potamiques d'altitude (Fig. n). Les émergences ont lieu généralement en mars et peuvent être considérables en abondance.

L'espèce *C. edmundsi* Sartori & Elouard, 1999 n'a été pour l'instant récoltée que sur le cours du Mangoro où elle émerge entre la fin du mois d'avril et le début du mois de mai (SARTORI & ELOUARD, 1999) (Fig. o).

Contrairement aux deux espèces précédentes, colonisant de grands cours d'eau en zones déboisées, l'espèce *C. laurencae* Sartori & Elouard, 1999, n'a été trouvée que dans quelques petits affluents du bassin du Rianila et du Mangoro, en zones forestières. Les adultes de cette espèce émergent plus tard, entre la fin de septembre et le début d'octobre (SARTORI & ELOUARD, 1999) (Fig. p).

6.3.4. Leptophlebiidae

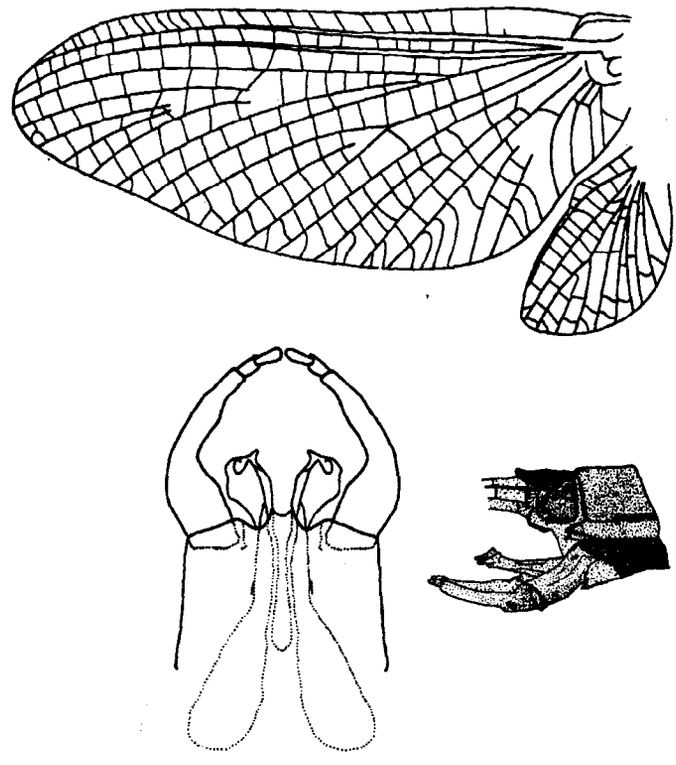


Figure 6 – Ailes et genitalia de Leptophlebiidae sp.
Dessin J.-M. ELOUARD.

Le corps des larves est plus ou moins déprimé, la tête est hypognathe ou prognathe selon les genres. Les palpes maxillaires et labiaux sont tri-segmentés. Les branchies sont portées par les segments abdominaux I à VI ou I à VII. Elles sont formées de

deux éléments de forme très variable : acuminées, foliées, frangées, digitées, filamenteuses, etc.. Les cerques et le paracerque sont présents.

Les yeux des mâles sont nettement divisés en deux parties ; la partie supérieure est munies de larges facettes tandis que celles de l'inférieure sont plus petites. Les ailes sont de forme classique, oblongues avec l'angle anal peu marqué. Elles portent deux à quatre longues intercalaires entre les nervures CuA et CuP.

Les ailes postérieures sont présentes (sauf chez *Nesophlebia*). Cerques et paracerques sont présents. Le corps est souvent coloré de brun, parfois de rouge. Les ailes peuvent être tachées de noir ou colorées de brun, d'orange ou de rouge.

Les larves vivent dans de nombreux biotopes ; selon les genres et les espèces, dans les eaux courantes abritées dans les interstices des rochers et galets, dans les amas de feuilles mortes, situés dans les courants faibles et même le long des berges dénuées de courant. Ce sont des brouteurs racleurs, mangeant des particules de matière organique

Cette famille pangénique, forme la composante principale des Éphémères en zone tropicale. Elle est, avec celle des Baetidae, la plus diversifiée à Madagascar. Toutefois, c'est la moins connue et la moins étudiée à l'heure actuelle et aucun nouveau genre ni nouvelle espèce n'ont été pour le moment publiés dans le cadre du programme *Biodiversité et biotypologie des eaux continentales de Madagascar,* ni au cours d'autres programmes. Elle comprend probablement plus de quinze genres et une centaine d'espèces. Seuls cinq genres et six espèces sont décrits. La majorité des Leptophlebiidae sont inféodés aux forêts de l'Est, qu'elles soient de plaine ou d'altitude. Les Leptophlebiidae sont divisés en deux sous-familles : les Leptophlebiinae et les Atalophlebiinae, toutes deux présentes sur l'île. Toutefois, les descriptions publiées à ce jour, concernent toutes la seconde.

Tous les genres sont endémiques et donc toutes les espèces. Ils présentent des affinités trans-antarctiques. D'après les études de PESCADOR & PETERS (1980) et PETERS (comm. pers.), les lignées sud-américaines, australiennes et Néo-Zélandaises *Hapsiphlebia - Atalophlebia, Penaphlebia,* et *Meridialarie - Atalophlebioides* existent à Madagascar. D'après TOWNS & PETERS (1996), les lignées néo-zélandaises telles *Tepakia - Isothraulus* sont également présentes.

À Madagascar, cette famille montre une très large distribution. Elle est présente aussi bien à l'Est qu'à l'Ouest, et tant en plaine, que sur les Hautes Terres ou en montagne.

6.3.5. Baetidae

Les Baetidae malgaches sont des Éphémères de taille petite à moyenne, à l'exception des genres carnivores *Herbrossus* et *Nesoptiloides*. Les yeux des mâles sont en turban souvent très colorés (rouge, orange). Les ailes postérieures sont fortement réduites ou absentes. Lorsqu'elles sont présentes, elle ne présentent au plus que deux à trois nervures longitudinales ; leur marge antérieure pouvant porter une ou deux projections. Les ailes antérieures sont pourvues, dans leur partie centrale, sur la marge postérieure, d'intercalaires simples ou doubles entre les nervures principales. Elles possèdent peu de nervules transverses. L'abdomen n'est pourvu que de deux cerques ; le paracerque étant absent. Les genitalia du mâle n'ont comme partie visible que les forceps, les pénis, non sclérotisés, étant rétractés dans le 10e segment abdominal.

Les larves en vue latérale ont la forme d'une virgule. La tête est hypognathe, l'abdomen aplati dorso-ventralement. Les glosses et paraglosses du labium sont longues et étroites. Les branchies sont portées par les segments I-VII ou II-VII. Le paracerque est plus ou moins développé selon les genres.

Cette famille cosmopolite est très diversifiée avec 22 genres sur l'île, c'est-à-dire qu'elle comprend la moitié des genres présents à Madagascar hors Leptophlebiidae. Au moins six genres de Baetidae sont endémiques de Madagascar. De plus, la plupart des genres non endémiques sont exclusivement présents en Afrique subsaharienne. Le genre pangénique *Cloeodes* (fig. ac) constitue une exception et un phénomène rare chez les Éphémères (WALTZ & MCCAFFERTY, 1994 ; LUGO-ORTIZ *et al.*, 1999). La récente découverte d'une population unique du genre *Afrobaetodes* dans le bassin Mandrare est également surprenant (GATTOLLIAT & SARTORI, 1999) mais confirme la relation étroite entre les faunes des Baetidae africaines et malgaches.

Les études portant sur cette famille, ont été réalisées d'une part, par l'équipe du Musée Zoologique Cantonal de Lausanne constituée de J.-L. GATTOLLIAT, M. SARTORI et de leurs collaborateurs et d'autre part, par l'équipe du Département d'Entomologie de l'Université de Purdue, West Lafayette, USA, constituée de MCCAFFERTY, WALTZ et LUGO-ORTIZ à partir de collections récoltées par le Dr. EDMUNDS.

Quatre genres *Cloeon, Pseudopannota, Nesoptiloides* et *Afroptilum* (ex-*Centroptilum*) et huit espèces (dont deux mauvaises), étaient signalés de l'île avant 1991. À l'heure actuelle, 22 genres et 61 espèces ont été publiés, donc 12 genres et 47 espèces après le début du programme (GATTOLLIAT sous presse a, b, c, d). Il faut remarquer que ce travail est loin d'être terminé car de nombreuses espèces n'ont pas encore été étudiées

ou sont en cours d'étude. Remarquons encore que des zones d'endémicité n'ont pas été prospectées (presqu'île de Masoala, Sambirano...).

La systématique des Baetidae fut longtemps fondée sur les imagos et surtout sur la présence ou non d'ailes postérieures ainsi que sur le nombre d'intercalaires marginales sur l'aile antérieure. Cette classification est actuellement abandonnée du fait du polyphylétisme de ces caractères. De plus, du fait que les genitalia sont assez peu typées et ne montrent pas de regroupement morphologique par genre, la systématique actuelle est basée sur les larves. Un effort notable a été fait pour relier, grâce aux micro-élevages, les larves aux adultes. Toutefois, nombre d'espèces décrites à l'état larvaire n'ont point encore de correspondant imaginal identifié. Toutefois, même pour les espèces où la correspondance a été établie, il est très difficile voire impossible, de différencier les imagos des différentes espèces. *De ce fait, le piégeage à la lumière n'est pas pertinent pour établir une typologie à partir des Baetidae.*

Les Baetidae sont généralement des animaux détritivores ou brouteurs. Quelques espèces sont cependant prédatrices. Il faut souligner l'importance de ces dernières à Madagascar. Alors qu'il existe deux genres monospécifiques (*Centroptiloides, Barnamus*) pour le continent africain, trois genres (*Herbrossus, Nesoptiloides, Guloptiloides*) et cinq espèces vivent à Madagascar. Ceci constitue encore une originalité de la faune éphéméridienne malgache (GATTOLLIAT & SARTORI, 1998, 1999, 2000; LUGO-ORTIZ & MCCAFFERTY, 1998).

Les Baetidae (Figs. q à bo) sont comme les Leptophlebiidae, très largement répartis sur l'ensemble de l'île. Toutefois, certains genres ont une distribution restreinte. Ainsi, les genres *Afroptiloides* (Figs. r, s, t), *Cheleocloeon* (Fig. aa), *Dicentroptilum* (Fig. an), *Guloptiloides* (Figs. ap, aq), *Rheoptilum* (figs. bh à bj) ne sont présents que dans la région orientale de Madagascar. Le genre *Xyrodromeus* est présent sur le versant oriental et les Hautes Terres (fig. bk à bo). Le genre *Afrobaetodes* monospécifique (*A. lenae*) n'a été trouvé que sur une station du Sud (Fig. q). Le genre *Pseudopannota* (*P. vinckei*), n'est présent que dans les milieux ouverts de savane (Fig. bg).

6.3.6. Heptageniidae

Les larves d'Heptageniidae sont larges et fortement aplaties dorso-ventralement. La tête prognathe est très large, souvent plus large que le corps. Les yeux et les antennes sont dorsaux. Les palpes labiaux et maxillaires sont de deux articles. Les branchies latérales, sont présentes sur les segments I à VII. Elles sont composées d'une lame semi-ovale ou acuminée dessous laquelle s'abrite une touffe de filaments fibrilliformes. Le paracerque est présent ou non selon les genres.

Les adultes ont une tête transverse. Les yeux des mâles sont plus développés que ceux des femelles. Les ailes sont de forme globalement triangulaire aux angles émoussés. L'aile antérieure possède deux paires d'intercalaires cubitales. Les nervures MP_1 et MP_2 formant une fourche plus ou moins symétrique. L'aile postérieure atteint approximativement le tiers de l'antérieure. Elle est munie ou non sur le bord costal d'une projection. Les deux paires d'ailes possèdent de nombreuses nervules transverses. Le corps est souvent très coloré de brun ou de rouge.

Cette famille, est essentiellement holarctique. Quelques genres existent en Afrique et en Asie. Elle est absente d'Australie. À Madagascar, elle est peu diversifiée. Remarquons que cela n'a rien d'étonnant puisque cette famille, à quelques rares exceptions, est inféodée aux eaux fraîches ou froides. Seuls trois genres sont connus pour l'Afrique et l'Asie et seuls deux genres *Thalerosphyrus* et *Afronurus*, tous deux monospécifiques, le sont à Madagascar. Le genre *Thalerosphyrus* est présent dans le Sud-est asiatique (SOLDAN, 1977) et à Madagascar, tandis que sa présence en Afrique continentale ou en Asie mineure (JENSEN, 1972) n'est pas encore prouvée. Le genre *Afronurus* comme son nom l'indique, est également présent sur le continent africain. Les Heptageniidae malgaches ont donc des affinités avec les faunes africaine et asiatique.

Les adultes arrivent tardivement au piège lumineux, pratiquement les derniers, une heure après le coucher du soleil. Les effectifs capturés ne sont jamais importants.

Les larves d'Heptageniidae sont plates, vivant sur les rochers. Elles sont racleuses et détritivores et inféodées soit aux courants, soit dans les zones sans courant le long des berges. Dans les zones rhitrhiques, elles recherchent les creux ou dessous de rochers, dans les zones sans courant, elles sont surtout sur les bois morts. Elles se déplacent très rapidement.

La durée de vie des adultes est la plus longue parmi les Éphémères africano-malgaches. La subimago émergente reste deux jours suspendue à un substrat avant de muer. Une fois la mue accomplie, l'imago se reproduit et meurt. La coloration des ailes de la subimago est souvent jaunâtre, bien différente de celle des imagos, ornée de bandes colorées.

Les deux genres se rencontrent essentiellement sur les montagnes de l'Est de l'île (figs. bp à br).

6.3.7. Oligoneuriidae

Les Oligoneuriidae ont des larves filtreuses vivant dans des courants relativement forts. L'aspect général est en virgule, proche de celui des Baetidae (Figure 7). Leurs téguments sont cependant davantage sclérotisés et les bords postéro-latéraux des tergites abdominaux fortement acuminés. Elles sont également beaucoup plus grandes que les Baetidae, pouvant atteindre jusqu'à 30 mm. Les palpes maxillaires et labiaux sont de deux segments. Elles possèdent, en sus des branchies latérales, une branchie barbue attachée au labium qui les différencie au premier coup d'œil des larves de Baetidae. Les branchies abdominales sont constituées d'une lame acuminée et fortement sclérosée protégeant des filaments en caecum. La première paire de pattes est sensiblement aplatie ; fémurs et tibias portent sur leurs bords internes de longues soies assurant un rôle de filtre pour retenir les particules alimentaires détritiques.

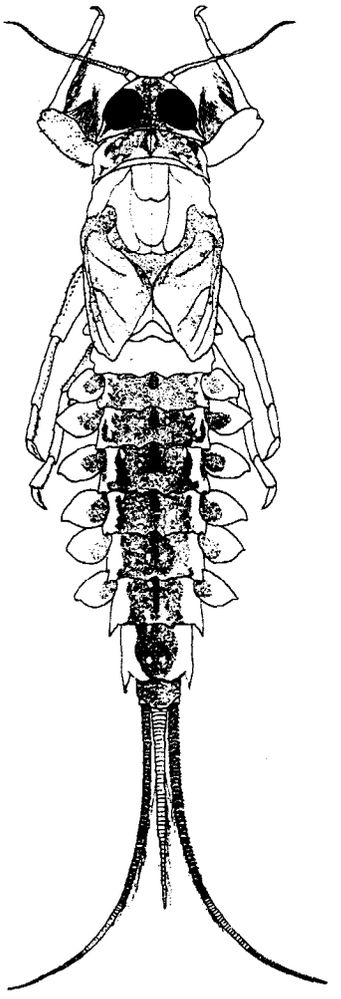


Figure 7 – Larve de *Madeconeuria* (Oligoneuriidae).
Dessin J.-M. ELOUARD.

Les adultes possèdent des ailes aux principales nervures géminées avec des nervures transverses peu abondantes, ténues et, pour certaines espèces, pratiquement obsolètes (Figure 8). L'aile postérieure, très petite par rapport à l'antérieure, lui est couplée durant le vol. La tête des adultes est sub-sphérique. Les imagos mâles ont de grands yeux sub-holoptiques, tandis que les femelles sont nanties d'yeux plus petits et franchement séparés par un front. Les pattes antérieures sont plus petites que les médianes. Le paracerque est aussi grand ou plus réduit que les cerques. L'appareilgénital externe n'est composé que de deux forceps peu sclérotisés. Ils sont constitués fondamentalement de deux segments ; le plus externe, très petit, peut être divisé en deux ou trois segments, nombre variable d'un spécimen à l'autre pour la même espèce. Les pénis sont contenus dans le 10e segment avant l'accouplement. Ils ne sont pas rétractables et apparaissent sous forme de tortillons après la copulation. S'il est relativement aisé de déterminer les espèces de *Madeconeuria* en se fondant sur la tête, les ailes et les genitalia des imagos mâles, la séparation spécifique des larves est, à ce jour, quasiment impossible.

Les essaims de fécondation sont de structure horizontale. Les mâles y patrouillent, à l'affût des femelles qui viennent s'y introduire pour copuler. Les essaims peuvent être très denses, constitués de plusieurs milliers d'individus. Ils se forment à la tombée de la nuit ou en début de nuit.

En Afrique et à Madagascar, certaines espèces d'Oligoneuriidae sont parfois porteur de stades préimaginaux de Simulies. Ainsi en est-il sur les Hautes Terres pour une espèce qui porte les larves phorétiques de *Simulium kiangarensis* entre ses pattes sur les sternites thoraciques et les nymphes sur les tergites thoraciques.

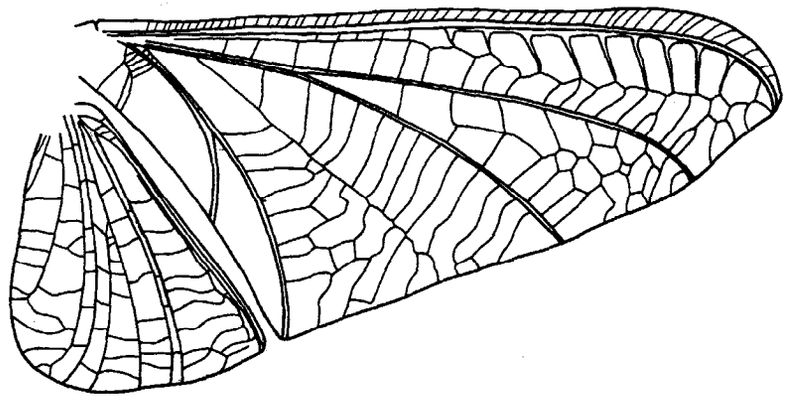


Figure 8 – Ailes de *Madeconeuria* sp. (Oligoneuriidae).
Dessin J.-M. ELOUARD.

La famille des Oligoneuriidae est essentiellement pantropicale, elle remonte cependant vers le Nord, jusqu'en Europe centrale, en Afghanistan jusqu'au Japon et au Canada. Vers le Sud, elle atteint l'Afrique du Sud, l'Argentine. Elle comprend deux genres en Afrique continentale : *Elassoneuria* et *Oligoneuriopsis*. Seul, le premier est présent à Madagascar. Toutefois, les *Elassoneuria* malgaches étaient jusqu'à présent, regroupés au sein du sous-genre *Madeconeuria* Demoulin, 1973, tandis que les africains s'en distinguent en appartenant au sous-genre *Elassoneuria* s.s. Des études récentes montre que le sous-genre *Madeconeuria* est suffisamment différent du genre *Elassoneuria* pour qu'on puisse l'ériger en genre. Les caractères distinctifs, portés par la larve, résident dans les branchies, les antennes et les cerques. Le genre *Madeconeuria* semble très diversifié à Madagascar. Douze espèces sont actuellement reconnues, mais non encore publiées (ELOUARD, en cours). Cette richesse est étonnamment élevée, comparée aux six espèces de l'ensemble de l'Afrique.

De plus, en sus de *Madeconeuria*, un nouveau genre d'Oligoneuriidae a été trouvé sur la côte orientale malgache ; il n'a été récolté pour le moment, que sur une seule station du fleuve Mangoro. Ce genre, actuellement en cours de description, est pour le moment, monospécifique ; l'espèce étant petite pour un Oligoneuriidae, plus petite que toutes les espèces de *Madeconeuria*. La larve est encore inconnue.

Les Oligoneuriidae du genre *Madeconeuria* sont présents pratiquement dans toutes les rivières de l'île, à l'exception des fleuves et rivières intermittents du Sud et des biefs sablonneux des fleuves des Basses Terres de l'Ouest (Fig. bs).

6.3.8. Teloganodidae

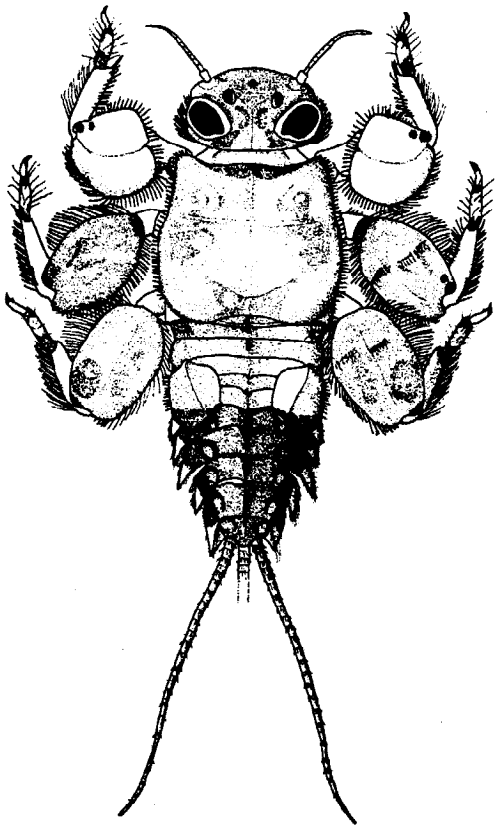


Figure 9 – Larve de Teloganodidae gen. nov.
Dessin J.-M. ELOUARD.

Bien que largement répartie de par le monde, la famille des Teloganedidae est la plus rare à Madagascar. Cette famille affine de celles des Tricorythidae et Ephemerellidae.

Ce sont des Ephémères de taille moyenne atteignant 7-8 mm hors cerques. La tête est sub-orthognathe, le thorax bien développé et l'abdomen triangulaire et déprimé dorso-ventralement (Figure 9). La partie apicale des mandibules est formée de canines robustes. Le palpe labial est de trois articles, le palpe maxillaire est très réduit, absent chez les formes malgaches. Les glosses et paraglosses sont bien séparées et terminées par une touffe de soies. Les pattes sont très aplaties avec des fémurs élargis. Les branchies sont portées par les segments I à V. La branchie I est très réduite, la branchie II est sub-operculaire, abritant presque totalement les branchies III, IV, et V. Les cerques et le paracerque sont présents.

Les imagos paraissent disproportionnés, avec des ailes antérieures étroites et longues par rapport au corps. La nervation est simple avec un champ anal réduit. Il faut cependant noter la présence d'intercalaires assez longues entre les nervures principales. L'aile postérieure est petite, ovoïde avec une projection de la costale.

Les larves sont rhéophiles, vivant sur les rochers. Elles sont très sensibles à la déforestation. Les espèces sont restreintes aux cours d'eau frais des montagnes (Montagne d'Ambre, Tsaratanana, Ankaratra, Andringitra). Cette distribution se superpose à celle des Plécoptères malgaches. Deux genres endémiques ont été trouvés : *Manohyphella* (Fig. bt), et un genre encore non décrit (Figure 9). Ils sont proches de la lignée asiatique comprenant les *Macaffertiella* et *Teloganodes* ainsi que des genres africains *Ephemerellina*, *Natadinetella*, *Lithoglea* et *Lestagella*. Les deux genres sont pour le moment monospécifiques.

6.3.9. Tricorythidae

Les larves de Tricorythidae malgaches possèdent de très fortes mandibules dont la partie incisive est très pointue et la mola très forte, la prostheca est très robuste. Toutefois, ce ne sont pas des prédateurs, mais des herbivores. Les maxilles sont normalement développés et sont munies d'un palpe tri-segmenté. Le labium est sub-cordiforme, avec glosses et paraglosses totalement fusionnées, caractère principal de reconnaissance pour les larves de la famille. Les palpes labiaux sont tri-segmentés. Leur thorax est robuste et l'abdomen moyennement aplati, de forme globalement triangulaire. Elles ne possèdent pas de fourreau d'aile postérieure. Les segments abdominaux III à VI sont raccourcis. La branchie I est vestigiale ou absente. Les autres branchies sont pratiquement superposées les unes aux autres, n'étant que très légèrement décalées. L'abdomen est prolongé par deux cerques et un paracerque.

Chez les Tricorythidae adultes malgaches, la tête est transverse, les yeux sont petits et de taille identique chez les deux sexes, pour le genre *Tricorythus*, gros chez le mâle et petits chez la femelle pour les genres *Madecassorythus*, *Spinirythus* et *Ranorythus*. Le thorax est robuste et l'abdomen est triangulaire et court. Seules les ailes antérieures sont présentes, de forme globalement ovoïde. La région anale de l'aile est assez développée. Les nervules transverses sont en nombre réduit. La marge postérieure de l'aile est munie de soie chez la subimago et l'imago. Les forceps des mâles sont bi-segmentés. Le reste de l'appareil génital montre une évolution notable entre les genres. Les genres *Madecassorythus* et *Spinirythus*, les plus plésiotypiques, possèdent deux pénis séparés assistés de deux gonostyles. Chez les *Ranorythus* (Figure 10) et les *Tricorythus*, les pénis sont soudés en un seul organe et les gonostyles sont absents. L'abdomen est terminé par deux cerques et un paracerque, très longs chez les mâles, plus courts chez les femelles.

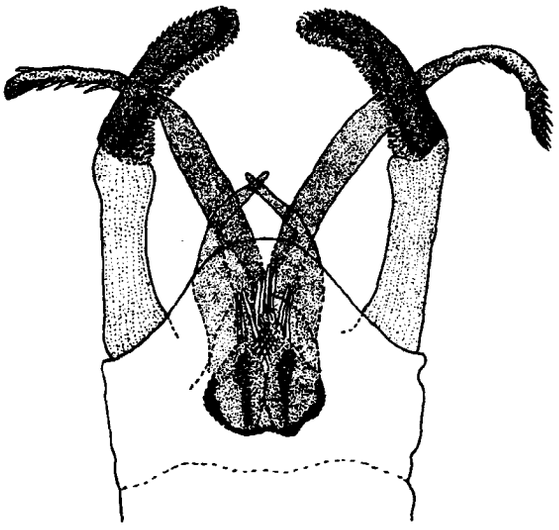


Figure 10 – Genitalia de *Madecassorythus ramanankasinae* mâle (Tricorythidae). *Dessin R. OLIARINONY.*

Les larves vivent dans les courants rapides ou moyennement rapides, souvent abritées dans les Podostemacées ou les feuilles mortes. L'étude des Tricorythidae fut pleine de surprises.

Avant le programme, Biodiversité et biotypologie des eaux continentales de Madagascar, quatre genres étaient connus d'Afrique et d'Asie (Tricorythus, Neurocaenis, Machadorythus, Dicercomyzon). À Madagascar, seul le genre Tricorythus était connu, signalé par une seule larve (DEMOULIN, 1968). Trois nouveaux genres endémiques ont été découverts : Madecassorythus, Spinirythus et Ranorythus. Ils représentent les formes les plus plésiotypiques de la famille (ELOUARD & OLIARINONY, 1997 ; OLIARINONY & ELOUARD, 1998a, b). L'étude de cette lignée malgache, très homogène, a permis une redéfinition complète de la famille des Tricorythidae. Ainsi, le genre Neurocaenis a été mis en synonymie avec le genre Tricorythus. Le genre asiatique Teloganella Ulmer, 1939, inclus de force par WANG et al. (1995) dans les Tricorythidae, a été écarté de cette famille pour être replacé dans la famille des Teloganellidae. Le genre Provonshaka, connu uniquement au stade larvaire, placé par WANG & MCCAFFERTY (1995) parmi les Tricorythidae a été classé dans les Caenidae par ELOUARD & SARTORI

(2001). Enfin, ces études ont permis de ranger le genre africain Ephemerythus dans la famille de Leptohyphidae (OLIARINONY, 1998, 2000). On voit donc que la découverte de nouveaux taxons à Madagascar a apporté un éclairage nouveau sur la systématique mondiale de cette famille.

Les études de systématique ont d'abord porté sur les adultes. À l'heure actuelle, elles concernent les larves (morphologie) et les œufs (morphologie en microscopie électronique, OLIARINONY *et al.*, 2000). Ces études sont menées en Suisse par l'étudiante R. OLIARINONY au Musée de Zoologie de Lausanne.

Les Tricorythidae malgaches comprennent à ce jour quatre genres et treize espèces. Toutefois, deux genres non encore décrits sont dans les collections de l'IRD.

Les Tricorythidae sont largement répartis dans toutes les rivières avec substrats rocheux ou de galets. On les trouve donc principalement sur les Hautes Terres, mais également, sur les côtes orientale et occidentale lorsque le substratum s'y prête. Si les genres *Tricorythus* (fig. cd) et *Spinirythus* (fig. by) sont largement répartis, les genres *Ranorythus* (fig. ca) et *Madecassorythus* (fig. bu) sont strictement localisés à la côte orientale. Les espèces du genre *Tricorythus* ont une distribution très variable (fig. cd. à cl) ; certaines espèces sont largement réparties (*T. variabilis*, fig. cl), d'autres présentent un microendémisme marqué (*T. jeannae*, fig. ch ; *T. rolandi*, fig. cj). Quelques espèces sont inféodées à la côte orientale (*T. ambinitsoae*, fig. ce ; *T. pierrei*, fig. ci).

6.3.10. Caenidae

Les larves de Caenidae possèdent un thorax robuste et un abdomen moyennement aplati. Les glosses et paraglosses sont velues et bien individualisées, le palpe labial est tri segmenté, le palpe maxillaire est très petit ou absent. Elle ne possèdent pas de fourreau d'aile postérieure. Les segments abdominaux III à VI sont raccourcis. La branchie II est transformée en opercule protégeant les autres branchies. Dans la majorité des cas, les opercules droit et gauche se recouvrent partiellement, sauf pour les espèces du genre *Madecocercus* (Figure 12). L'abdomen est prolongé par deux cerques et un paracerque.

Chez les adultes, la tête est transverse, les yeux sont petits et de taille identique chez les deux sexes. Le thorax est robuste et l'abdomen est triangulaire et court. Seules les ailes antérieures sont présentes, de forme globalement ovoïde. Les nervures MP_2 et IMP sont presque aussi longues que la MP_1. La région anale de l'aile est assez développée. Les nervules transverses sont en très petit nombre. La marge postérieure de l'aile est munie de soies chez la subimago et l'imago. Les forceps des mâles sont uniségmentés. L'abdomen est terminé par deux cerques et un paracerque, tous trois, très longs chez les mâles, plus courts chez les femelles.

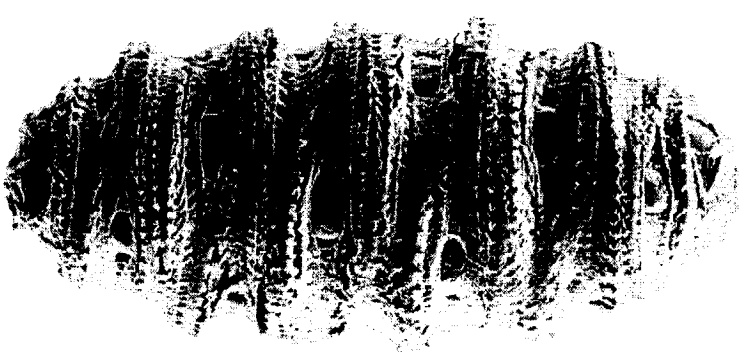


Figure 11 – Œuf du nouveau genre de Caenidae.
Photo Musée zoologique de Lausanne.

Les larves de Caenidae vivent dans les zones de faible courant, dans les feuilles mortes ou sur les rochers. Ce sont des détritivores, se nourrissant de particules fines couvrants les substrat rocheux.

Les Caenidae malgaches, ne sont actifs que pendant la période précédant le lever du soleil. Il faut donc faire des piégeages lumineux au petit matin pour pouvoir en récolter les adultes.

Cette famille est représentée à Madagascar par trois genres. En plus du genre cosmopolite *Caenis*, les deux autres genres sont *Madecocercus* et un genre non encore décrit, appartenant à la sous-famille plus primitive des Brachycercinae (Madecocercinae sensu McCafferty), sont endémiques de l'île (MALZACHER, 1995 ; M. SARTORI & J.-M. ELOUARD, résultat non publié). Le genre *Madecocercus* a été décrit par MALZACHER sur des spécimens provenant d'une collection que le programme lui a fait parvenir, l'autre genre a été découvert par L. ANDRIAMANANTENA (Figure 11). En 1995, le genre *Provonshaka* fut décrit par MCCAFFERTY & WANG, 1995 à partir d'une larve dont l'espèce fut nommée *P. thomasorum* et classée dans les Tricorythidae. Il s'agit en réalité, d'une larve de *M. tauroides* (ELOUARD & SARTORI, 2001).

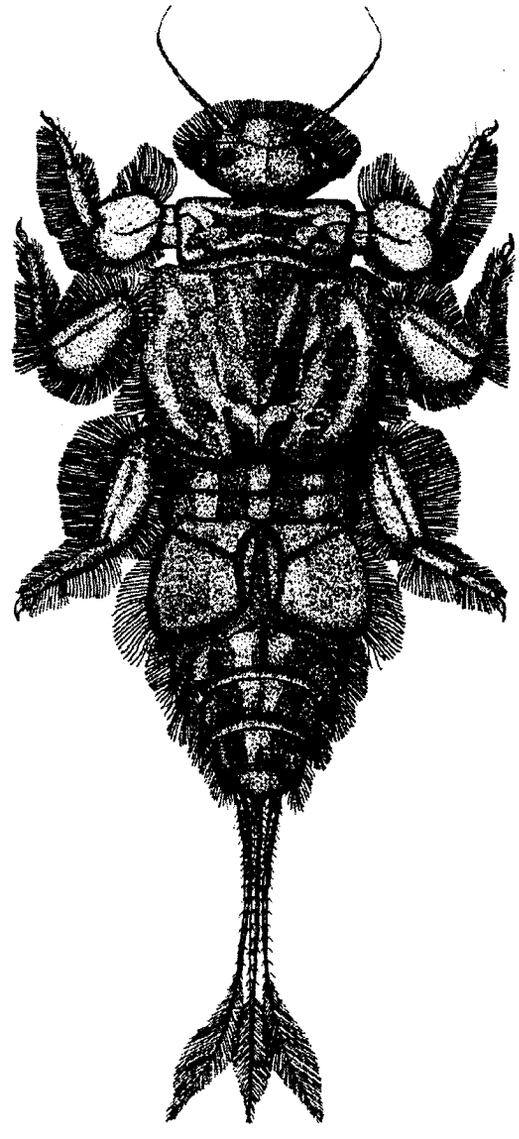


Figure 12 - Larve de *Madecocercus sp.* (Caenidae).
Dessin J.-M. ELOUARD.

Le genre *Caenis* est très bien représenté dans toute l'île (Fig. cm), les quatre espèces - *C. johannae* (Fig. cn), *C. namorona* (Fig. co), *C. rugosa* (Fig. cp) et *C. spinosa* (Fig. cq) - ayant toute une vaste répartition de même que le genre Madecocercus (figs. cr, cs).

6.3.11. Prosopistomatidae

La famille des Prosopistomatidae est l'une des plus évoluées de l'Ordre des Éphémères. Elle est monogénérique avec le genre *Prosopistoma* qui présente une distribution quasi planétaire.

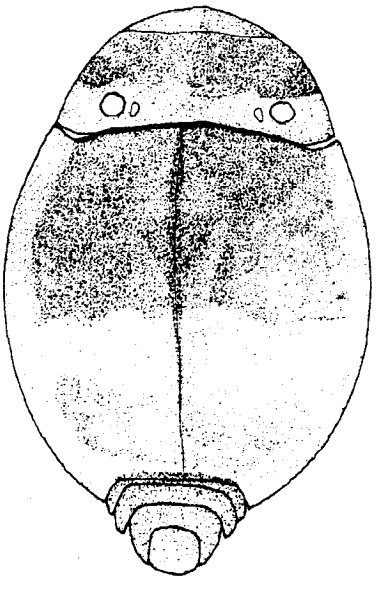


Figure 13 – Larve de Prosopistoma sp. (Polymitarcyidae).
Dessin N. RABERIAKA

Les larves sont de forme discoïdale du fait d'un développement important des fourreaux alaires (Figure 13). La tête est petite, incluse dans le thorax, Le pronotum et le mesonotum sont fusionnés pour former un bouclier atteignant le 6e segment abdominal. Les pattes sont petites et non visibles dorsalement. Cerques et paracerque sont très petits, rétractables. Ces larves ont été longtemps prises pour des Copépodes (" Binocle à queue de plumet "). L'espèce malgache *Prosopistoma variegatum* est l'espèce type de la famille et fût décrite en 1833. Seule cette espèce était connue au début du programme. Il semblerait que la faune malgache contiennent au moins quatre espèces de *Prosopistoma.*

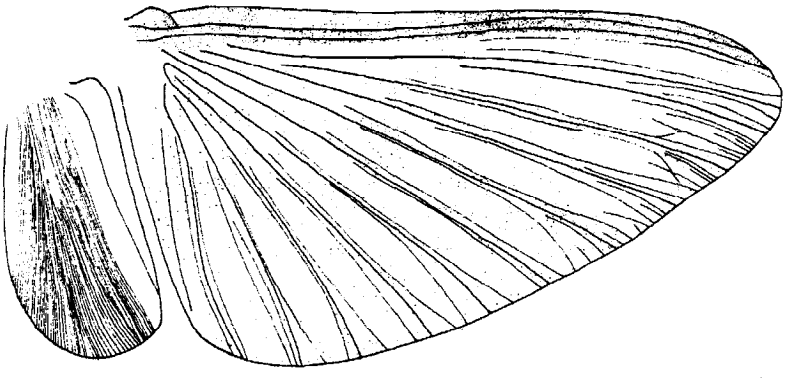


Figure 14 – Aile d'adulte de Prosopistoma sp.
Dessin N. RABERIAKA.

Chez les adultes, la tête est transverse, les yeux sont petits chez les deux sexes. Le thorax est robuste, l'abdomen petit et triangulaire. Ils ont deux paires d'ailes dépourvues de nervule transverse (Figure 14). Les pattes antérieures des mâles sont nettement plus longues que celles des deux autres paires ; les pattes des

femelles sont atrophiées. Les trois filaments caudaux sont au moins trois fois plus longs que le corps chez le mâle, ceux de la femelle sont un peu plus grand que le corps. La femelle subimago ne mue pas en imago.

La distribution couvre pratiquement toutes les rivières échantillonnées à l'exception des rivières sablonneuses et des rivières intermittentes du Sud-ouest (Fig. ct).

7. CONCLUSION SUR L'ETUDE DES EPHEMERES

De moins de vingt taxons signalés avant 1990, la faune éphéméridienne malgache est passée à plus de cent taxons décrits. Toutefois, de nombreuses espèces appartenant principalement aux familles des Oligoneuriidae, Prosopistomatidae, Teloganodidae, Tricorythidae, Caenidae et surtout Leptophlebiidae, sont encore en collection, non décrites. Ceci laisse supposer que le nombre d'espèces malgaches doit se situer aux environs de 200 espèces. À celles-ci doivent être ajoutées de nouvelles découvertes qui seront faites dans les zones d'endémicité encore non prospectées que sont le Sambirano, la presqu'île de Masoala et le Tsaratanana. La faune de ce groupe est donc loin d'être entièrement connue et seul J.-L. GATTOLLIAT travaille encore dessus en s'intéressant à la famille des Baetidae.

En ce qui concerne la chorologie des espèces décrites, une estimation assez satisfaisante, bien qu'imparfaite a été réalisée. Du fait de la mise en base de données de toutes les récoltes, elle sera rapide pour les espèces encore non décrites.

En revanche, nos connaissances sur la biologie et l'écologie des espèces reste très superficielles. Un effort notable dans ce sens reste à faire. Cela est d'autant plus urgent que la disparition de la forêt orientale progresse rapidement. Il est peut-être déjà trop tard et probable qu'une grande partie des espèces aura disparue avant que des études ne puissent être entreprises.

R. OLIARINONY, jeune chercheur malgache, formé à ce groupe taxinomique, travaille en ce moment sur l'impact de la déforestation sur les populations d'Éphémères. Il serait souhaitable, qu'une fois ce travail terminé, celle-ci puisse continuer ses travaux.

8. LISTE DES EPHEMERES MALGACHES DECRITS

F. POLYMITARCYIDAE

G. *Proboscidoplocia* Démoulin, 1966
- *P. auberti* Elouard & Sartori, 1997
- *P. billi* Elouard & Sartori, 1997
- *P. leplattenierae* Elouard & Sartori, 1997
- *P. magdeleineae* Elouard & Sartori, 1997
- *P. mccaffertyi* Elouard & Sartori, 1999
- *P. ruffieuxae* Elouard & Sartori, 1997
- *P. sikorai* (Vayssière, 1895)
- *P. vayssierei* Elouard & Sartori, 1997

F. PALINGENIIDAE

G. *Cheirogenesia* Démoulin, 1952
- *C. decaryi* (Navàs, 1926)
- *C. edmundsi* Sartori & Elouard, 1999
- *C. laurencae* Sartori & Elouard, 1999

F. EPHEMERIDAE

G. *Eatonica* Navàs, 1913
- *E. denysae* Elouard & Sartori, 1998
- *E. josettae* Démoulin, 1969
- *E. luciennae* Elouard & Oliarinony, 1998

F. BAETIDAE

G. *Afrobaetodes* Démoulin, 1970
- *A. lenae* Gattolliat & Sartori, 1999

G. *Afroptiloides* Gillies, 1990
- *A. spinosum* Gattolliat, 2000
- *A. delphinae* Gattolliat, 2000
- *A. namorona* Gattolliat, 2000

G. *Afroptilum* Gillies, 1990
- *A. confusum* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1998
- *A. gilberti* Gattolliat & Sartori, 1999
- *A. lepidum* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1998
- *A. mathildae* Gattolliat & Sartori, 1999

G. *Cheleocloeon* Wuillot, 1993
- C. mirandei Lugo-Ortiz & McCafferty, 1997

G. *Cloeodes* Traver, 1938
- *C. portabilis* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1997
- *C. bicoloratus* Gattolliat, 2001
- *C. freitagae* Gattolliat, 2001
- *C. pseudogladius* Gattolliat, 2001

G. *Cloeon* Leach, 1815
- *C. cambouei* Navàs, 1930 Nomina dubia L-O & McC 1998
- *C. durani* Navàs, 1926
- *C. irretitum* Navàs, 1936 Nomina dubia L-O & *McC 1998*
- *C. emmanuelli* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1998
- *C. smaeleni* Lestage, 1924

G. *Dabulamanzia* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1996
- *D. duci* Gattolliat & Elouard, 1999
- *D. improvida* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1997
- *D. gladius* Gattolliat & Sartori, 2000
- *D. gigantea* Gattolliat & Sartori, 2000
- *D. concolorata* Gattolliat & Sartori, 2000

G. *Delouardus* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1999
D. djabala Lugo-Ortiz & McCafferty, 1999

G. *Demoulinia* Gillies, 1990
D. insularis Lugo-Ortiz & McCafferty, 1998

G. *Dicentroptilum* Wuillot & Gillies, 1994
D. merina Lugo-Ortiz & McCafferty, 1998

G. *Echinopus* Gattolliat
Echinopus spl Gattolliat
Echinopus minutus Gattolliat

G. *Edmulmeatus* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1997
E. grandis Lugo-Ortiz & McCafferty, 1997

G. *Guloptiloides* Gattolliat & Sartori, 2000
G. gargantua Gattolliat & Sartori, 2000

G. *Herbrossus* McCafferty & Lugo-Ortiz, 1998
H. christinae Gattolliat & Sartori, 1998
H. edmundsorum McCafferty & Lugo-Ortiz, 1998
H. elouardi Gattolliat & Sartori, 1998

G. *Labiobaetis* Novikova & Kluge, 1987
L. dambrensis Gattolliat, 2001
L. fabulosus Lugo-Ortiz & McCafferty, 1997
L. gilliesi Gattolliat, 2001
L. longicercus Gattolliat, 2001
L. plumbago Lugo-Ortiz & McCafferty, 1997
L. nigrocercus Gattolliat, 2001
L. punctatus Gattolliat, 2001
L. vulgaris Gattolliat, 2001

G. *Mutelocloeon* Gillies & Elouard, 1990
M. thomasorum Lugo-Ortiz & McCafferty, 1997

G. *Nesoptiloides* Démoulin, 1973
N. electroptera (Démoulin, 1966)

G. *Nesydemius* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1998
N. polhemusorum Lugo-Ortiz & McCafferty, 1998

G. *Pseudopannota* Waltz & McCafferty, 1987
P. (Pseudopannota) vinckei (Démoulin, 1973)

G. *Rheoptilum* Gattolliat, 2001
R. arni Gattolliat, 2001
R. lokohense Gattolliat, 2001

G. *Scutoptilum* Gattolliat, 2000
S. verrucosum Gattolliat

G. *Xyrodromeus* Lugo-Ortiz & McCafferty, 1997
X. namarona Lugo-Ortiz & McCafferty, 1997
X. modestus Gattolliat, 2001
X. sartorii Gattolliat, 2001
X. latipalpus Gattolliat, 2001

F. OLIGONEURIIDAE

G. *Madeconeuria* Eaton, 1881
M. insulicola Démoulin, 1966

F. HEPTAGENIIDAE

G. *Afronurus* Lestage, 1924
A. matitensis Sartori & Elouard, 1996

G. *Thalerosphyrus* Eaton, 1881
T. josettae Sartori & Elouard, 1996

F. LEPTOPHLEBIIDAE BANKS, 1900

G. *Nesophlebia* Peters & Edmunds, 1964
N. adusta Peters & Edmunds, 1964

G. *Petersophlebia* Démoulin, 1973
P. insularis Démoulin, 1973

G. *Polythelais* Démoulin, 1973
P. digitata Démoulin, 1973

G. *Ulmerophlebia* Démoulin, 1955
U. succinea Démoulin, 1966
U. variegata Démoulin, 1966

G. *Atalophlebiodes* Phillips, 1930
A. inaequalis Démoulin, 1955

F. TRICORYTHIDAE

G. *Madecassorythus* Elouard & Oliarinony, 1997
M. hertui Elouard & Oliarinony, 1997
M. linae Elouard & Oliarinony, 1997
M. ramanankasinae Oliarinony & Elouard, 1997
M. raphaeli Oliarinony & Sartori, 2000

G. *Spinirythus* Oliarinony & Elouard, 1998
S. martini Oliarinony & Elouard, 1998

G. *Ranorythus* Oliarinony & Elouard, 1998
R. langrandi Oliarinony & Elouard, 1998
R. violettae Oliarinony & Elouard, 1998

G. *Tricorythus* Eaton, 1868
T. ambinintsoae Oliarinony & Elouard, 1998
T. fyae Oliarinony & Raberiaka, 1998
T. goodmani Elouard & Oliarinony, 1998
T. jeannae Oliarinony & Elouard, 1998
T. pierrei Elouard & Oliarinony, 1998
T. rolandi Oliarinony & Raberiaka, 1998
T. sylvestris Oliarinony & Elouard, 1998
T. variabilis Oliarinony & Raberiaka, 1998
T. vulgaris Raberiaka & Oliarinony, 1998

F. TELOGANODIDAE

G. *Manohyphella* Allen, 1973
M. keiseri Allen, 1973

F. CAENIDAE

G. *Caenis* Stephens, 1835
C. johannae Malzacher, 1995
C. namorona Malzacher, 1995
C. rugosa Malzacher, 1995
C. rutila Malzacher, 1995
C. spinosa Malzacher, 1995

G. *Madecocercus* Malzacher, 1995
(=*Provonshaka* McCafferty & Wang, 1995)
Madecocercus tauroides Malzacher, 1995
(=*Provonshaka thomasorum* (McCafferty & Wang, 1995))

F. PROSOPISTOMATIDAE

G. *Prosopistoma* Latreille, 1833
P. variegatum Latreille, 1833

9. BIBLIOGRAPHIE

ALLEN R.K. & EDMUNDS G.F., 1963 - New and little known Ephemerellidae from Southern Asia, Africa and Madagascar. *Pacific Insects*, 5 (1) : 11-22.

ALLEN R.K., 1973 - New Ephemerellidae from Madagascar and Afghanistan. *Pan-Pac. Entomol.*, 49 (2) : 160-164.

ANDRIAMANANTENA L., 1998 - Systématique et Biogéographie des Caenidae, (Ephémèroptères Pannotes) malgaches. Mémoire en vue de l'obtention du certificat d'aptitude pédagogique de l'école normale (CAPEN)., 1 : 121 pp.

DEMOULIN G, 1952 - Contribution à l'étude des Ephoronidae Euthyplociinae (Insectes Ephéméroptères). *Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg.*, 28 (45) : 1-22.

DEMOULIN G., 1955 - *Atalophlebiodes inequalis* sp. nov. Ephéméroptères Leptophlebiidae nouveau de Madagascar. *Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg.*, 31 (15) : 1-4.

DEMOULIN G., 1966 - Contribution à l'étude des Euthyplociidae. (Ephemeroptera). IV - Un nouveau genre de Madagascar. *Ann. Soc. Ent. Fr. (N.S.)*, 2 (4) : 941-949..

DEMOULIN G., 1966 - Quelques Ephéméroptères nouveaux de Madagascar. *Ann. Soc. Ent. Fr. (N.S.)*, 2 (3) : 711-717.

DEMOULIN G., 1968 - Quelques Ephéméroptères nouveaux de Madagascar II. *Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg.*, 44 (32) : 1-9.

DEMOULIN G., 1969 - Le genre *Eatonica* Navàs (Ephemeroptera, Ephemeridae) existe-t-il à Madagascar ? *Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg.*, 45 (6) : 1-9.

DEMOULIN G., 1970 - Ephemeroptera des faunes éthiopienne et malgache. *S. African Anim. life*, 14 : 24-170.

DEMOULIN (G.), 1973 - Ephéméroptères de Madagascar. III. *Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg.*, 49 (7) : 1-20.

DEMOULIN G., 1981 - Ephéméroptères. Flore et Faune aquatiques de l'Afrique Sahelo-Soudanienne. J.-R. Durand et C. Lévêque. Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. Collection Initiations - Documentation Techniques n°45., 2 (45) : 407-444.

EDMUNDS, G.F. Jr, 1975 - Phylogenetic biogeography of mayflies. *Ann. Missouri Bot. Garden*, 62(2) : 251-263.

EDMUNDS G.F., JENSEN S.L., BERNER L., 1976 – The mayflies of North and Central America. Univ. Minnesota Press, Minneapolis.330 pp.

EDMUNDS G.F. Jr, 1979 - Biogeographical relationships of the Oriental and Ethiopian mayflies. In : K. Pasternak & R. Sowa (eds), Proceedings of the second international conference on Ephemeroptera, 11-14, Polish Academy of Sciences, Krakow.

EDMUNDS G.F. Jr, ALLEN R.K. & PETERS W.L., 1963 - An annotated key to the nymphs of the families and subfamilies of Mayflies (Ephemeroptera). *Univ. Utah Biol. Series.*, 13 (1) : 1-49.

ELOUARD J.-M., 1986 - Éphémères d'Afrique de l'Ouest. Le genre *Eatonica* (Ephemeridae). *Rev. Hydrobiol. trop.*, 19 (2) : 87-92.

ELOUARD J.-M., ANDRIAMANTENINA L. & SARTORI M., 2001 - The nymph of the Malagasy genus *Madecocercus* Malzacher, 1995 (Ephemeroptera, Caenidae). *Aquatic Insects*,

ELOUARD J.-M. & OLIARINONY R., 1997 - Biodiversité aquatique de Madagascar. 6- *Madecassorythus* un nouveau genre de Tricorythidae définissant la nouvelle sous-famille des Madecassorythinae (Ephemeroptera, Pannota). *Bull. Soc. ent. Fr.*, 102 (3) : 225-232.

ELOUARD J.-M., OLIARINONY R. & SARTORI M., 1998 - Biodiversité aquatique de Madagascar. 9. le genre *Eatonica* Navàs (Ephemeroptera Ephemeridae). *Bull. Soc. Ent. Suisse*, 71 : 1-9.

ELOUARD J.-M. & SARTORI M., 1997 - Aquatic biodiversity of Madagascar. *Proboscidoplocia* a singular plural (Ephemeroptera : Polymitarcyidae : Euthiplociinae). In : Ephemeroptera and Plecoptera - Biology, Ecology, Systematics. P. Landolt, M. Sartori editor, MTL-MAURON-TINGUEM & LACHAT S.A., Fribourg., 439-447.

ELOUARD J.-M., SARTORI M., GATTOLLIAT J.-L. & OLIARINONY R., 1999 - *Proboscidoplocia* (Ephemeroptera Polymitarcyidae) from the Réserve Naturelle Intégrale d'Andohahela and surrounding areas, with a description of a new species. *Fieldiana,* 94 (6) : 111-114.

FONTAINE J., 1968 - Contribution à l'étude des Ephémèroptères malgaches : la surperfamille des Ephemeroidea. *Bull. mens. Soc. Lin. Lyon,* 6 : 228-242.

FRÖHLICH F., 1996 - La position de Madagascar dans le cadre de l'évolution géodynamique et de l'environnement de l'océan indien. In : W.R. Lourenço (Ed.) Biogéographie de Madagascar. ORSTOM, Paris. : 19-26.

GATTOLLIAT J.-L., 2000 - Three new species of *Afroptiloides* (Insecta : Ephemeroptera) and first report of this genus from Madagascar. *Mitt. Schweiz. Entomol. Ges.,* 73 : 305-315.

GATTOLLIAT J.-L., 2001 – Six new Malagasy species of the genus *Labiobaetis* Novikova & Kluge (Ephemeroptera : Baetidae) with consideration on its validity. *Annls. Limnol., Toulouse,* 37 : 97-123.

GATTOLLIAT J.-L., 2001 - The genus *Cloeodes* (Ephemeroptera : Baetidae) in Madagascar. *Rev. Suisse Zool.,* 108 : 387-402.

GATTOLLIAT J.-L., 2001 – Six new Malagasy species of the genus *Labiobaetis* Novikova & Kluge (Ephemeroptera : Baetidae) with the first description of the adults. *Annls. Limnol., Toulouse,* 37 : 97-123.

GATTOLLIAT J.-L., 2001 - *Rheoptilum* : a new genus of two tailed Baetidae (Ephemeroptera) from Madagascar. *Aquatic Insects.,* 23 : 67-81.

GATTOLLIAT J.-L., soumis a – Three new Malagasy species of *Xyrodromeus* (Ephemeroptera : Baetidae) with first generic description of the adults. *Rev. Suisse Zool.*

GATTOLLIAT J.-L., soumis b - The genera *Cheleocloeon* Wuillot & Gillies, *Delouardus* Lugo-Ortiz & McCafferty and *Demoulinia* (Baetidae, Ephemeroptera) in Madagascar.

GATTOLLIAT J.-L., soumis c – A new species of *Pseudopannota* (Baetidae : Ephemeroptera) from Madagascar.

GATTOLLIAT J.-L., soumis d – Two new genera of Baetidae from Madagascar. *Aquatic Insects.*

GATTOLLIAT J.-L. & RABEANTOANDRO Z., soumis – The genus *Cloeon* (Baetidae : Ephemeroptera) in Madagascar. *Mitt. schweiz. ent. Ges.*

GATTOLLIAT J.-L. & SARTORI M., 1998 - Two new species of *Herbrossus* (Ephemeroptera : Baetidae) from Madagascar with the first generic description of the adults. *Annls. Limnol.,* 34 (3) : 305-314.

GATTOLLIAT J.-L. & SARTORI M., 1999 - Revision of the Malagasy genus *Nesoptiloides* (Ephemeroptera, Baetidae). *Bull. Soc. ent. Suisse.,* 72 : 23-30.

GATTOLLIAT J.-L. & SARTORI M., 1999 - A new species of *Afrobaetodes* (Insecta : Ephemeroptera) and first report of this genus from Madagascar. *Annls. Limnol., Toulouse,* 35 (3) : 179-184.

GATTOLLIAT J.-L. & SARTORI M., 2000 - *Guloptiloides* : an extraordinary new carnivorous genus of Baetidae (Ephemeroptera). *Aquatic Insects,* 22 : 148-159.

GATTOLLIAT J.-L. & SARTORI M., 2000 - Contribution to the systematic of the genus *Dabulamanzia* (Ephemeroptera : Baetidae) in Madagascar. *Rev. Suisse Zool.,* 107 : 561-577.

GATTOLLIAT, J.-L., & SARTORI M., 2001 - Predaceous Baetidae in Madagascar: an uncommon and unsuspected high diversity. In : E. Domingez ed., *Trends in research in Ephemeroptera and Plecoptera,* pp. 321-330, Kluwer Academic/Plenum Publisher, New York..

GATTOLLIAT J.-L., SARTORI M. & ELOUARD J.-M., 1999 - Three new species of Baetidae (Ephemeroptera) from the Réserve Naturelle Intégrale d'Andohahela, Madagascar. *Fieldiana*, 94 (7) : 115-124.

GILLIES M.T., 1954 - The adult stages of *Prosopistoma* Latreille (Ephemeroptera) with descriptions of two new species from Africa. *Trans. R. Ent. Soc. London.*, 105 (15) : 355-372.

GROS A.J. & LESTAGE J.A., 1927 - Contribution à l'étude des larves des Ephéméroptères. IV. Le groupe Euthyplocien. *Ann. Biol. lacust.*, 15 : 119-162.

HUBBARD M.D., 1975 - A nomenclatural problem in Ephemeroptera : *Prosopistoma* or *Binoculus*? Proc. 2nd Int. Conf. Ephem., K. Pasternak & R. Sowa eds. Warszawa, Krakow, 73-77.

JENSEN S.L., 1972 - A generic revision of the Heptageniidae of the world (Ephemeroptera). Ph.D. thesis, University of Utah.

KLUGE N.J., STUDEMANN D., LANDOLT P. & GONSER T., 1995 - A reclassification of Siphlonuroidea (Ephemeroptera). *Mitt. schweiz. ent. Ges*, 68 : 103-132.

LATREILLE P.A., 1833 - Description d'un nouveau genre de crustacés. *Ann. Mus. Hist. Nat. Paris*, 3e Sér., 2 : 23-34.

LUGO-ORTIZ C.R. & McCAFFERTY, 1997a - New Afrotropical genus of Baetidae (Insecta : Ephemeroptera) with bladelike mandibles. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 133 : 41-46.

LUGO-ORTIZ C.R. & McCAFFERTY, 1997b - New species and first reports of the genera *Cheleocloeon*, *Dabulamanzia*, and *Mutelocloeon* (Insecta : Ephemeroptera : Baetidae) from Madagascar. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 133 : 47-53.

LUGO-ORTIZ C.R. & McCAFFERTY, 1997c - *Edmulmeatus* grandis : an extraordinary new genus and species of Baetidae (Insecta : Ephemeroptera) from Madagascar. *Annls. Limnol.*, 33 (3) : 191-195.

LUGO-ORTIZ C.R. & McCAFFERTY, 1997d - *Labiobaetis* Novikova & Kluge (Ephemeroptera : Baetidae) from the Afrotropical region. *Afr. ent.*, 5 (2) : 241-260.

LUGO-ORTIZ C.R. & McCAFFERTY, 1998a – The *Centroptiloides* complex of Afrotropical small and minow mayflies (Ephemeroptera : Baetidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 91 : 1-26.

LUGO-ORTIZ C.R. & McCAFFERTY, 1998b – New species of *Cloeon* and *Demoulinia* (Ephemeroptera : Baetidae) from Madagascar. Ent. News, 109 : 357-362.

LUGO-ORTIZ C.R. & McCAFFERTY, 1999 – *Delouardus*, a new *Centroptiloides* complex genus from Madagascar and its relationship with *Cheleocloeon* Wuillot & Gillies (Ephemeroptera : Baetidae). Afr. Entomol., 7 : 63-66.

LUGO-ORTIZ C.R., McCAFFERTY W.P. & GATTOLLIAT J.-L., 1999 - The small minnow mayfly genus *Cloeodes* Traver (Ephemeroptera : Baetidae) in Madagascar. *Proc. Entomol. Soc. Wash.*, 101 (1) : 208-211.

MALZACHER P., 1995 - Caenidae from Madagascar (Insecta, Ephemeroptera). *Stuttgarter Beitr. Naturk.*, n° 530 : 1-12.

McCAFFERTY W.P., 1968 - A new genus and species of Ephemeridae (Ephemeroptera) from Madagascar. *Entomo. Records*, 80 : 293.

McCAFFERTY W.P. & BENSTEAD J.P., in press – Cladistic resolution and ecology of the Madagascar genus Manohyphella Allen (Ephemeroptera : Teloganodidae). *Annls. Limnol.*,

McCAFFERTY W.P. & EDMUNDS G.F., 1976 - The larvae of the Madagascar genus *Cheirogenesia* Demoulin (Ephemeroptera, Palingeniidae). *Systematic Entomol.*, 1 : 189-194.

McCAFFERTY W.P. & WANG T.Q., 1995 - A new genus and species of Tricorythidae (Ephemeroptera : Pannota) from Madagascar. *Annls. Limnol.*, 31 (3) : 179-183.

McCAFFERTY W.P. & WANG T.Q., 2000 – Phylogenetic systematics of the major lineages of pannotes mauflies (Ephemeroptera : Pannota). *Trans. Am. Entomol.* Soc., 126 : 9-101.

NAVÀS L., 1923 - Comunicaciones entomologicas, 9. Mis excursiones cientificas en 1927. *Revta. Acad. Ci. Zaragoza,* 11 : 71-137.

NAVÀS L., 1926 - Algunos Insectos del Museo de Paris. *Broteria, Zool.*, 23 (3) : 95-115.

NAVÀS L., 1930 - Insectos del Museo de Paris. 6è série. *Broteria, Zool.,* 26 : 120-144.

NAVÀS L., 1934 - 18. Insectos de Madagascar. *Segunda serie. Rev. Acad. Cien. exact. Fis.-Quim. nat.,* 18 : 42-74.

NAVÀS L., 1936 - Comunicaciones entomologicas. 19. Insectos de Madagascar (3ème serie). *Revta. Acad. Ci. Zaragoza,* 19 : 100-110.

OLIARINONY R. & ELOUARD J.-M., 1997 - Biodiversité aquatique de Madagascar. 7. *Ranorythus* un nouveau genre de Tricorythidae définissant la nouvelle sous-famille des Ranorythinae (Ephemeroptera Pannota). *Bull. Soc. ent. Fr.*, 102 (5) : 439-447.

OLIARINONY R., ELOUARD J.-M. & RABERIAKA N., 1998 - Biodiversité aquatique de Madagascar. 19. Neuf nouvelles espèces de *Tricorythus* (Ephemeroptera, Pannota, Tricorythidae). *Bull. Soc. ent. Fr., 20 (3)* : 73-90.

OLIARINONY R., ELOUARD J.-M. & RABERIAKA N.., 1998 - Biodiversité aquatique de Madagascar. 8. *Spinirythus* un nouveau genre de Tricorythidae (Ephemeroptera : Pannota). *Bull. Soc. ent. Fr.,* 103 (3) : 237-244.

OLIARINONY R., 1998 - Systématique et Biogéographie des Tricorythidae malgaches, (Ephéméroptères :Pannotes). Mémoire de D.E.A. Option "Ecologie et Environnement". Université d'Antananarivo., tome 1 (texte) : 60 pp, tome 2 : figures : 61 pp..

OLIARINONY R., 2000 - Contribution à l'étude systématique et phylogénétique des Tricorythidae afrotropicaux (Ephemeroptera : Pannota). Diplôme de la Faculté des Sciences, Université de Lausanne, 71 p.

OLIARINONY R., SARTORI M. & ELOUARD J.-M., 2000 - Première description des larves et des œufs du genre malgache Madecassorythus (Ephemeroptera, Tricorythidae). *Bull. Soc. ent. Suisse,* 73 (3-4) 369-378.

PAULIAN (R.), 1949 - Sur la faune des cascades de Nosy-Be. *Naturaliste malgache,* 1 : 31-32.

PAULIAN R., 1961 - Faune de Madagascar. XIII. La zoogéographie de Madagascar et des îles voisines. Institut de Recherche Scientifique Tananarive – Tsimbazaza. 485 pp.

PAULIAN R., 1996 - Réflexions sur la zoogéographie de Madagascar. In : W.R. LOURENÇO (Ed.) Biogéographie de Madagascar, pp. 219-230, ORSTOM, Paris.

PESCADOR M.L. & PETERS W.L., 1980 - Phylogenetic relationships and zoogeography of cool-adapted Leptophlebiidae (Ephemeroptera). In : J.F. Flannagan & K.E. Marshall (eds), Advances in Ephemeroptera Biology, pp 43-56, Plenum Press, New York.

PETERS W.L. & CAMPBELL I.C., 1991 - Ephemeroptera. In : I.D. Naumann *et al.* (eds), The Insects of Australia, vol. 1, pp. 279-293, CSIRO, Melbourne.

PETERS W.L., EDMUNDS G.F., 1964 - A revision of the generic classification of the Ethiopian Leptophlebiidae (Ephemeridae). *Trans. R. Ent. Soc. London.*, 116 (10) : 225-253.

PETERS W.L. & EDMUNDS G.F., 1984 - A redescription and phylogenetic relationships of *Nesophlebia* (Ephemeroptera, Leptophlebiidae, Atalophlebiinae). Proc. IVth Intern. Confer. Ephemeroptera. V. Landa *et al.* (eds.), 27-35.

RAMANANKASINA E. & RATSIMAMANGA A.R., 1973 - Contribution à l'étude de la biologie de deux espèces d'Ephémères : *Elassoneuria insulicola* Demoulin, *Proboscidoplocia sikorai* Vayssière de la rivière

Andriandrano (Mandraka), sous préfécture de Manjakandriana (Madagascar). *C. R. Acad. Sc. Paris,* 277 (D) : 1513-1515.

RUFFIEUX L., ELOUARD J.-M. & SARTORI M., 1998 - Flightlessness in mayflies and its relevance to hypotheses on the origin of insect flight. *Proc. R. Soc. Lond.,* 265 : 2135-2140.

SARTORI M. & ELOUARD J.-M., 1996 - New Heptageniidae (Insecta : Ephemeroptera) from the Réserve Naturelle Intégrale d'Andringitra, Madagascar. In a Floral and faunal investory of the eastern side of the Réserve Naturelle de l'Andringitra, Madagascar : with reference to elevation variation. S.Goodman scient. edit., Field Museum of Natural History. N° spécial de la revue Fieldiana. Zool., 85 : 121-130.

SARTORI M. & ELOUARD J.-M., 1999 - Biodiversité aquatique de Madagascar 30 : le genre *Cheirogenesia* Demoulin, 1952 (Ephemeroptera, Palingeniidae). *Rev. Suisse Zool.,* 106 (2) : 325-337.

SARTORI M., ELOUARD J.-M., RUFFIEUX L. & L'EPLATTENIER G., 1999 - Description des femelles et morphologie des œufs de quelques espèces de *Proboscidoplocia* (Ephemeroptera, Ephemeroidea). *Bull. Soc. Ent. Suisse.,* 72 : 55-63.

STRENGER A., 1977 - Zur kopfmorphologie der Ephemeridenlarven Proboscidoplocia sikorai. *Stuttgarter Beitr. Naturk.,* 127 : 1-18.

SOLDAN T., 1977 - Three new species of mayflies (Ephemeroptera) from the mist oasis of Erkwit, Sudan. *Acta ent. Bohemoslov,* 74 : 289-294.

TOWNS D.R. & PETERS W.L., 1996 - Leptophlebiidae (Insecta : Ephemeroptera). *Fauna of New Zealand,* 36 : 1-143.

ULMER G., 1909 - Ephemeriden von Madagaskar und den Comoren. *Voeltzkow's Reise in Ostrafrika,* 1903-1905, II. : 365-368.

ULMER G., 1916 - Ephemeropteren von Aequatorial-Afrika. *Arch. Naturg.,* 81 (A), 7 (1915) : 1-19.

VAYSSIERE M.A., 1890a - Sur le *Prosopistoma variegatum* de Madagascar. *C. R. Acad. Sc. Paris,* 110 : 95-96.

VAYSSIERE M.A., 1890b - Monographie zoologique et anatomique du genre *Prosopistoma* Latr. *Ann. Sc. Nat., Zool.,* 9 : 19-87.

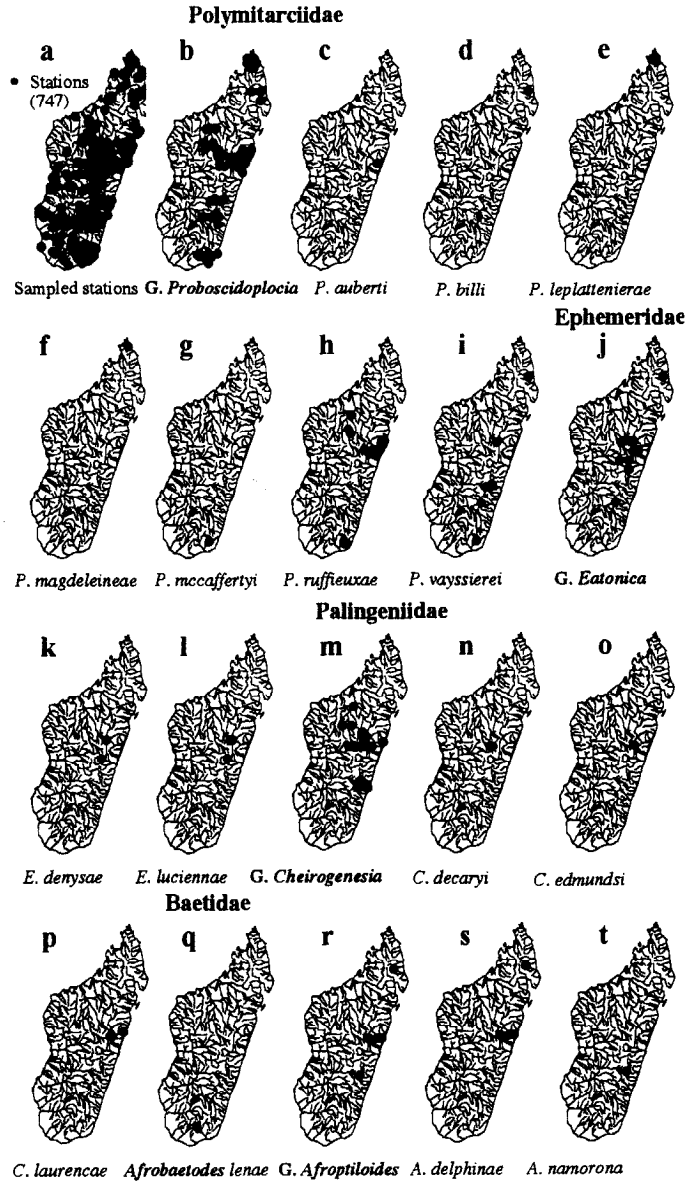
VAYSSIERE M.A., 1891 - Observations sur l'*Euthyplocia sikorai,* type d'Ephéméridé de grande taille, provenant de l'île de Madagascar. *C.R. Assoc. franç. Avancemt. Sci.,* 20 : 243.

VAYSSIERE M.A., 1895 - Description zoologique de *l'Euthyplocia Sikorai,* nouvelle espèce d'Ephéméridé de Madagascar. *Ann. Soc. Ent. Fr. (N.S.),* 64 : 297-306.

VAYSSIERE M.A., 1937 - Description zoologique et anatomique de la larve nymphale et de la subimago F de l'*Euthyplocia Sikorai*, espèce d'Ephéméridé de Madagascar. *Ann. Sc. Nat., Zool.,* 20 (10) : 73-98.

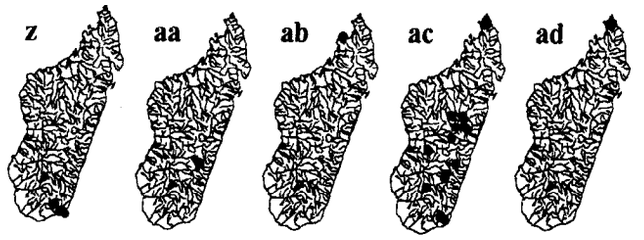
WALTZ R.D. & MCCAFFERTY W.P., 1994 - *Cloeodes* (Ephemeroptera, Baetidae) in Africa. *Aquatic Insects,* 16(3) : 165-169.

10. CARTES DE DISTRIBUTION



Baetidae suite

A. spinosum G. *Afroptilum* *A. confusum* *A. gilberti* *A. lepidum*

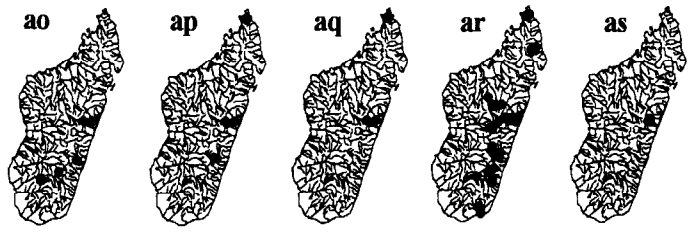


A. mathildae *Chelocloeon mirandei* *Cloeon emmanueli* G. *Cloeodes* *C. bicoloratus*

C. freitagae *C. portabilis* *C. pseudogladius* G. *Dabulamanzia* *D. concolorata*

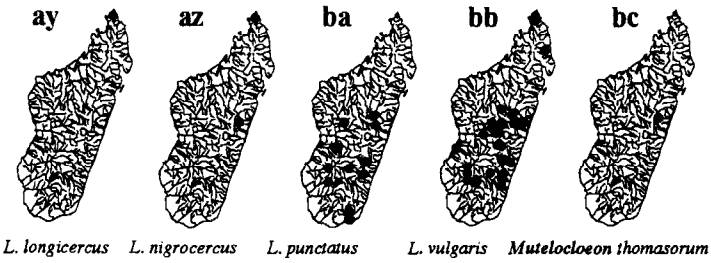
D. duci *D. gladius* *D. improvida* *Delouardus djabala* *Dicentroptilum merina*

Baetidae suite

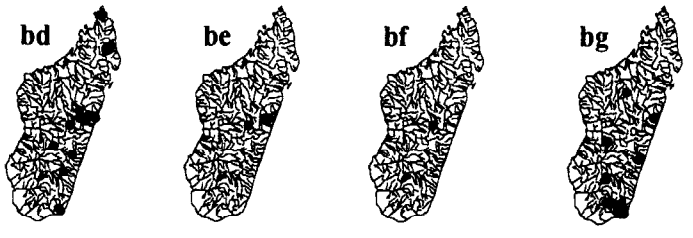


Edmulmeatus** grandis* **G. *Guloptiloides *G. gargantua* **G. *Herbrossus*** *H. christinae*

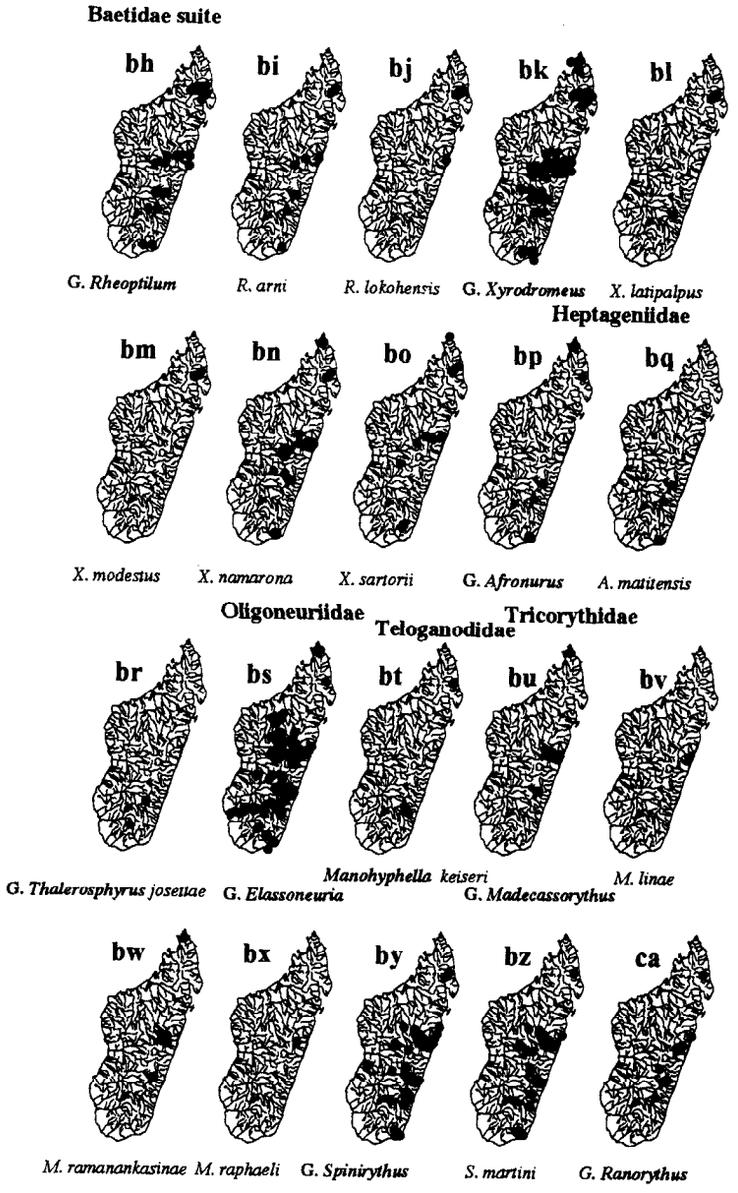
H. edmundsorum *H. elouardi* **G. *Labiobaetis*** *L. fabulosus* *L. gilliesi*



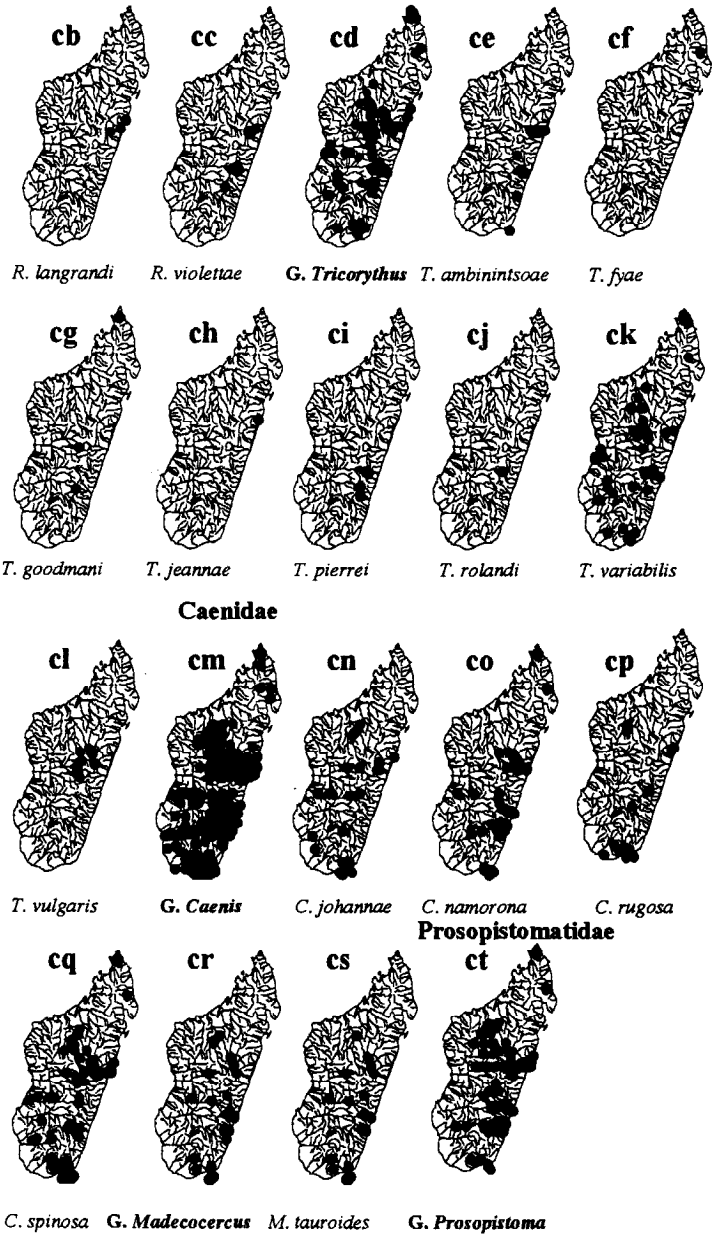
L. longicercus *L. nigrocercus* *L. punctatus* *L. vulgaris* ***Mutelocloeon** thomasorum*



***Nesoptiloides** electroptera* *N. intermedia* ***Nesydemius** polhemusorum* ***Pseudopannota** vinckei*


Baetidae suite
bh
bi
bj
bk
bl
G. Rheoptilum
R. arni
R. lokohensis
G. Xyrodromeus
X. latipalpus
Heptageniidae
bm
bn
bo
bp
bq
X. modestus
X. namarona
X. sartorii
G. Afronurus
A. matitensis
Oligoneuriidae
Teloganodidae
Tricorythidae
br
bs
bt
bu
bv
G. Thalerosphyrus josettae
G. Elassoneuria
Manohyphella keiseri
G. Madecassorythus
M. linae
bw
bx
by
bz
ca
M. ramanankasinae
M. raphaeli
G. Spinirythus
S. martini
G. Ranorythus

Tricorythidae suite



Biodiversité et biotypologie des eaux continentales de Madagascar

J.-M. Elouard
F.-M. Gibon

IRD

Institut de Recherche pour le Développement
IRD

Centre National de la Recherche pour l'Environnement
CNRE

Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Aquatiques et leur Environnement
LRSAE

BIODIVERSITE ET BIOTYPOLOGIE DES EAUX CONTINENTALES DE MADAGASCAR

Jean-Marc ELOUARD
François-Marie GIBON

2001

SOMMAIRE

Auteurs 11
Remerciements 13
Préface R. Paulian 15
Avertissement 19

PARTIE I - LES HYDROSYSTEMES MALGACHES ET LEUR ECHANTILLONNAGE

• CADRE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE DES BIOHYDROSYSTÈMES MALGACHES ***(F-M. GIBON)*** 23

1. Biodiversité et biotypologie de la conservation 23
   1.1. L'inventaire des espèces 23
   1.2. La conservation 24
2. Les Invertébrés benthiques des cours d'eau 24
   2.1. La spécificité des écosystèmes lotiques 24
   2.2. Les approches conceptuelles globales 25
      2.2.1. La zonation longitudinale d'Illies et Botosaneanu 25
      2.2.2. Le concept du continuum fluvial 26
   2.3. Les développements récents 27
3. Le cadre des recherches hydrobiologiques à Madagascar 28
   3.1. Le choix de Madagascar 28
   3.2. Aperçu historique des recherches naturalistes malgaches 29
   3.3. La politique de conservation 29
   3.4. Le programme *"Biodiversité et biotypologie des eaux continentales malgaches"* 30
      3.4.1. Les objectifs scientifiques 30
      3.4.2. Les objectifs techniques 31
4. Références bibliographiques 32

• ÉCO-HYDROSYSTÈMES ***(J.-M. ELOUARD)*** 37

1. Le milieu malgache 37
2. Le réseau hydrographique 37
   2.1. Milieux lotiques 37
   2.2. Milieux lentiques 39
      2.2.1. Les lacs 40
      2.2.2. Les étangs 40
      2.2.3. Les marais ou marécages 40
3. Généralités sur la faune et la flore des eaux continentales 40
   3.1. Faune et flore des milieux lotiques 40
   3.2. Faune et flore des milieux lentiques 41
   3.3. Connaissance 42
   3.4. Richesse 43
   3.5. Endémisme 44
   3.6. Microendémisme 45
   3.7. Distribution 47
   3.8. Affinités 47
   3.9. Originalité des formes malgaches .....
48
4. Références bibliographiques 49

• MISE EN ŒUVRE DU PROGRAMME 51

1. Financement 51
2. Locaux 51
3. Véhicules 51
4. Équipe 51
5. Partenaires 53

• **STRATÉGIE ET MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE** *(J.-M. ELOUARD & F.-M. GIBON)* 55
1. Introduction 55
2. Choix des sites 55
3. Bassins échantillonnés 56
4. Stations 57
4.1. Milieux lotiques 57
4.2. Milieux lentiques 58
4.2.1. Echantillonnage des Invertébrés 58
4.2.2. Echantillonnage des Plantes 58
5. Saison d'échantillonnage 58
6. Méthodes d'échantillonnage 59
6.1. Echantillonnage des adultes 59
6.1.1. Le piégeage lumineux 59
6.1.2. Les captures au filet 61
6.2. Echantillonnage des stades préimaginaux 61
6.3. Autre technique de récolte des Invertébrés 62
6.4. Echantillonnage des plantes aquatiques 62
7. Choix des stations 62
8. Mesure des paramètres du milieu 63
8.1. Les paramètres concernant les bassins versants 64
8.2. Les paramètres climatiques 64
8.3. Les paramètres physiques 64
8.4. Les paramètres chimiques 64
8.5. Paramètres pour la typologie des peuplements végétaux lentiques 64
9. Travaux de laboratoire 65
10. Gestion et stockage des données 65
10.1. Gestion des données : le logiciel NOE 65
10.1. Stockage des données : la base BiBiSOA 66
11. Analyse des données 66
11.1. Représentation des données 66
11.2. Cartographie 66
11.3. Le profil écologique 66
11.4. Analyse des données 67
11.4.1. Les méthodes de classification 67
12 Bibliothèque du laboratoire 69
13. Ouvrage cités dans les différents chapitres 69
14. Conclusion sur les méthodes 69
15. Ouvrage cités 70

PARTIE II - TRAVAUX D'INVENTAIRE ET DE SYSTEMATIQUE 75
• **ORDRE DES EPHEMEROPTERES** *(J.-M. ELOUARD, M. SARTORI, J.L. GATTOLLIAT, R. OLIARINONY)* .. 77
1. Morphologie 77
1.1. Œufs 77
1.2. Larves 77
1.3. Les adultes 79
2. Biologie et écologie 80
2.1. Ecologie des œufs 80
2.2. Ecologie des larves 81
2.3. Emergence 81
3. Ennemis et risques 82
3.1. Ennemis 82
3.2. Risques 82
4. Richesse et endémicité 82
5. Récolte et conservation 83
6. Systématique 83
6.1. Clé des larves 83
6.2. Clé des adultes 84
6.3. Familles 86
6.3.1. Polymitarcyidae 86

6.3.2. Ephemeridae 89
6.3.3. Palingeniidae 90
6.3.4. Leptophlebiidae 91
6.3.5. Baetidae 92
6.3.6. Heptageniidae 93
6.3.7. Oligoneuriidae 94
6.3.8. Teloganodidae 96
6.3.9. Tricorythidae 97
6.3.10. Caenidae 98
6.3.11. Prosopistomatidae 100
7. Conclusion sur l'étude des Ephémères 101
8. Liste des Ephémères malgaches décrits 101
9. Bibliographie 103
10. Cartes de distribution 108

• **ORDRE DES ODONATES** *(J. LEGRAND)* 113

1. Morphologie 113
1.1. Morphologie des imagos 113
1.2. Morphologie des larves 114
1.3. Les œufs 115
2. Biologie 115
2.1. Développement post embryonnaire 115
2.2. La mue imaginale 116
2.3. Maturation sexuelle 116
2.4. Comportement reproducteur 116
3. Ecologie 118
3.1. Milieu de vie 118
3.2. Régime et comportement alimentaire 118
3.3. Longévité et dynamique des populations 118
4. Prédateurs et prasites 119
4.1. Prédateurs 119
4.2. Parasites 119
5. Risques 119
6. Voltinisme 119
7. Richesse et endémisme 119
8. Liste des Odonates malgaches 121
9. Bibliographie 127

ORDRE DES MEGALOPTERES *(J.-M. ELOUARD)* 131

1. Morphologie 131
1.1. Morphologie des larves 131
1.2. Morphologie des nymphes 131
1.3. Morphologie des imagos 131
2. Biologie et écologie 131
3. Systématique 132
3.1. Famille des Sialidae, Genre *Haplosialis* 132
3.2. Famille des Corydalidae, Genre *Madachauliodes* 132
4. Conclusion 133
5. Liste des Mégaloptères malgaches 133
6. Cartes de distribution des Mégaloptères 133
7. Principales références bibliographiques 134

ORDRE DES PLECOPTERES *(J.-M. ELOUARD)* 135

1. Morphologie 135
1.1. Adultes 135
1.2. Larves 136
2. Systématique 136
3. Préparation 137
4. Biologie et écologie 137

5. Durée de développement 138
6. Importance économique 138
7. Les Plécoptères malgaches 138
8. Liste des espèces de *Madanemura* et principales localités de récolte 140
9. Références bibliographique 140

ORDRE DES TRICHOPTERES *(F.-M. GIBON, R RANDRAIMASIMANANA & Z. ANDRIAMBELO)* 141

1. Introduction 141
2. Phylogénie 141
3. Quelques remarques biologiques 141
   3.1. Les constructions 142
   3.2. La respiration 143
   3.3. L'alimentation 143
   3.4. Le cycle biologique 143
4. Les faunes afrotropicales et malgaches 145
5. Glossosomatoidea 146
6. Hydroptiloidea 147
7. Philopotamoidea 148
   7.1. Une richesse spécifique exceptionnelle 148
   7.2. La répartition des familles à Madagascar 148
   7.3. La sous-famille des Paulianodiinae 149
   7.4. La sous famille des Philopotaminae 151
   7.5. La sous-famille des Chimarrinae 152
8. Les Hydropsychoidea 153
   8.1. Psychomyiidae 153
   8.2. Polycentropodidae 155
   8.3. Dipseudopsidae 157
   8.4. Ecnomidae 158
   8.5. Hydropsychidae 159
9. Limnephiloidea 165
   9.1. Pisuliidae 165
   9.2. Lepidostomatidae 166
   9.3. Goeridae 166
10 Sericostomatidae 167
   10.1. Petrothrincidae 167
   10.2. Helicopsychidae 168
   10. 3. Sericostomatidae 169
11. Les Leptoceroidea 169
   11.1. Calamoceratidae 169
   11.2. Leptoceridae 170
12. Quelques absences remarquables 180
   12.1. Les Rhyacophiloidea 180
   12.2. Atriplectididae (Leptoceroidea) 181
13. Conclusion 181
14. Liste des espèces de Trichoptères malgaches 182
15. Clé de détermination des familles et sous-familles de l'Afrique soudanienne 186
   15.1. Clé des adultes 186
   15.2. Clé des larves 188
15. Bibliographie 189

• **ORDRE DES PLANIPENNES** *(J.-M. ELOUARD)* 197

• **ORDRE DES DIPTERES** 199
• **DIPTERES CERATOPOGONIDAE** *(S. RABEANTOANDRO)* 201

1. Morphologie 201
2. Classification 201
3. Biologie 202
4. Nuisance, rôle vectoriel et lutte 203
5. Distribution des espèces malgaches et endémisme 204

6. Conclusion 204
7. List des espèces récoltés 204
8. Cartes de distribution 205
9. Bibliographie 207

• **DIPTERES BLEPHARICERIDAE** *(J.-M. ELOUARD)* 210

1. Morphologie 210
1.1. Morphologie larvaire 210
1.2. Morphologie nymphale 210
1.3. Morphologie imaginale 210
2. Systématique 211
3. Distribution 210
4. Liste des espèces 211
5. Bibliographie 211

• **DIPTERES SIMULIIDAE** *(J.-M. ELOUARD)* 213

1. Généralités 213
2. Echantillonnage 213
2.1. Effort d'échantillonnage 213
2.2. Méthode de récolte 213
3. Morphologie 214
3.1. Les œufs 214
3.2. Les larves 214
3.3. Les nymphes 214
3.4. Les adultes 216
4. Systématique 217
4.1. Genres, sous-genres 217
4.2. Espèces 217
4.3. Clé des nymphes 218
5. Etudes des espèces : distribution, biologie, écologie 219
5.1. Ecologie générale des Simulies 219
5.2. Anthropophilie 219
5.3. Distribution des espèces 220
5.4. Phorésie 220
6. Liste des Simulies malgaches 220
7. Distribution des espèces malgaches de Simulies 223
8. Bibliographie 225

• **AUTRES DIPTÈRES** *(J.-M. ELOUARD)* 227

1. Tipulidae et Limoniidae 227
2. Liste des espèces 227
3. Bibliographie 232

• **HETEROPTERES** *(O. FOSSATI)* 235

1. Morphologie 235
2. Richesse et endémicité 235
3. Biologie et écologie 236
4. Récoltes 236
5. Hétéroptères aquatiques malgaches 236
6. Bibliographie 238

• **CRUSTACES DECAPODES** *(E. DOUMENQ)* 243

1. Systématique 243

• **ECREVISSES** *(B. RABEARISOA)* 245

1. Systématique 245
2. Distribution 245
3. Intérêt économique des Ecrevisses malgaches 245

4. Menaces 246
5. Préservation 247
6. Liste des espèces 247
7. Bibliographie 247

• **CREVETTES** *(E. DOUMENQ)* 249

1. Les Atyidae 249
   1.1. Richesse 249
   1.2. Endémicité 249
   1.3. Distribution 251
   1.4. Biologie et écologie 251
   1.5. Intérêt économique 251
2. Palaemonidae 250
   2.1. Morphologie 251
   2.2. Systématique 251
   2.3. Endémicité 252
   2.4. Biologie et écologie 252
   2.5. Biogéographie 252
   2.6. Intérêt économique 252
3. Liste des espèces 252
4. Bibliographie 253

• **POISSONS** *(J.-M. ELOUARD)* 255

1. Introduction 255
2. Richesse et endémicité 255
3. Listes des Poissons malgaches 255
4. Bibliographie 260

• **PLANTES AQUATIQUES** *(H. RANARIJAONA)* 267

1. Notion de plante aquatique et semi-aquatique 267
2. Systématique 268
3. Distribution 268
4. Endémicité 268
5. Définition des lacs et des marais 269
   5.1. Lacs 269
   5.2. Les étangs 269
   5.3. Les marais ou marécages 269
6. Richesse spécifique 270
7. Les zones éco-floristiques 270
8. Répartition d'après la structure géomorphologique de Madagascar 271
9. Principales menaces et mesures de protection 272
   9.1. Menaces 272
   9.1. Effets de l'agriculture 272
   9.3. Déforestation 272
   9.4. Introduction d'espèces exotiques 272
   9.5. Exploitation non durable des lacs et des marais 273
   9.6. La pêche 273
   9.7. Mesures prises pour la protection des zones humides 273
10. Liste des plantes aquatiques et semi-aquatiques 273
11. Bibliographie 285

PARTIE III - BIOTYPOLOGIE

• **CAS DES TRICHOPTERES** *(F.-M. GIBON)* 293

1. Etude des Trichoptères au niveau générique 294
   1.1. Les données et les méthodes 294
      1.1.1. Les taxons 294
      1.1.2. Les sites étudiés 294
      1.1.3. Les méthodes utilisées 294

1.2. Interprétation et discussions 297
1.2.1. Le versant oriental 297
1.2.2. Le versant occidental 302
1.3. Conclusion 310
2. Etude des peuplements de Philopotamidae 310
2.1. Un clivage entre les forêts humides primaires et les autres biomes 310
2.2. Une caractéristique des espèces " forestières " : le microendémisme 312
2.3. Les zones de transition 312
2.4. Les espèces potamiques forestières 314
2.5. Les espèces de milieux ouverts 315
3. Conclusion 316
4. Ouvrages cités 317

• ECHANGES POSSIBLES D'INVERTEBRES ENTRE TROIS AIRES FORESTIERES CONTIGUËS ***(E. DOUMENQ)*** 319

1. Introduction 319
2. Présentation du réseau hydrographique 319
3. Mesure des paramètres du milieu 319
4. Systématique 320
5. Macrocrustacés 320
5.1. Richesse et distribution 320
5.2. Peuplements 321
6. Trichoptères 323
6.1. Richesse et distribution 323
6.2. Peuplements 325
7. Ephémères 326
7.1. Richesse et distribution 326
7.2. Peuplements 327
8. Conclusion 328
9. Ouvrages cités 328

• BIOTYPOLOGIE FLORISTIQUE DES MILIEU X LENTIQUES ***(H. RANARIJAONA)*** 329

1. Les types de milieux lentiques 329
2. Descripteurs 332
3. Typologie et zones écofloristiques 333
4. Ouvrages cités 333
5. Littérature grise : Travaux du LRSAE sur la flore des eaux stagnantes 334

• CONCLUSION A PROPOS DES ETUDES BIOTYPOLOGIQUES 336

PARTIE IV - BIODIVERSITE AQUATIQUE
• VALEUR, EROSION ET AVENIR DE LA BIODIVERSITE AQUATIQUE ***(J.-M. ELOUARD)*** 339

1. Maintien de la biodiversité 339
1.1. Maintien de la richesse spécifique aquatique 339
1.2. Intérêt des plantes aquatiques et semi-aquatiques 340
1.3. Intérêt des lacs, étangs et marais malgaches 340
2. Erosion de la biodiversité 341
2.1. Généralités 341
2.2. Menaces sur la biodiversité 342
2.2.1. La déforestation 342
2.2.2. Pêche : surexploitation 345
2.2.3. Aménagements : endiguement, création de barrages 346
2.2.4. Destruction des milieu x 346
2.2.5. Introduction d'espèces 347
2.2.6. Chasse 350
2.2.7. Pollutions 350
2.3. Espèces disparus et espèces menacées 351
2.5. Les remèdes 354

3. Conclusions et recommandations concernant le domaine aquatique 355
4. Ouvrages cités 355

PARTIE V - PRODUITS : LOGICIELS, BASE DE DONNEES, PUBLICATIONS ET FORMATION

• LOGICIELS NOE ET CARTONOE ***(J.-M. ELOUARD)*** 361

1. Logiciel NOE 361
   1.1. Introduction 361
   1.2. Structure de NOE 362
   1.3. Module de systématique 363
   1.4. Module de bibliographie 370
   1.5. Module de écologique ou de terrain 372
   1.6. Module des paramètres 375
   1.7. Principales routines et fonctionalités de NOE 377
2. Le logiciel CartoNOE 380

• BASE DE DONNEE BIBISOA ***(J.-M. ELOUARD)*** 383

1. Introduction 383
2. Localisation des Bases BiBiSOA 383
3. Contenu de la base 384
   2.1. Contenu par catégorie de fichiers 384
   2.2.. Contenu par groupe taxinomique 385
   2.3.. Contenu par niveau taxinomique 386

• PUBLICATIONS 388

1. Type et thèmes des publications 388
2. Livres et chapitres de livres 388
3. Articles 390
4. Diplômes 392
5. Littérature grise 393
6. Logiciels 395
7. Base de données 397
8. Brevets 397
9. Presse 390

PARTIE VI - FORMATION

• FORMATION 399

1. Introduction 399
2. Formations générales 399
3. Stages. 399
4. Formations diplômantes. 400
   4.1. DEA 400
   4.2. Ingéniorat, CAPEN 401
   4.3. Thèses 401
5. Formation continue. 402

PARTIE VII - CONCLUSION

CONCLUSION 411

ANNEXES

Annexe 1 : liste des bassins 415
Annexe 2 : liste des prélèvements 419