

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 08 ماي 1945 قالمة
UNIVERSITÉ 08 MAI 1945 GUELMA

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE
L'UNIVERS

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire de Master

Domaine: Sciences de la Nature et de Vie

Filière: Biologie

Spécialité/option: Parasitologie

**Thème : Parasitisme larvaire chez les insectes à intérêt médical et
vétérinaire, cas des Simuliidae (Diptera, Nematocera)**

Présenté par :

Atti Djihane

Khalla Dounya

Ben Ayache Bouchra

Devant le jury composé de :

Président : Mme. S. Sansri (MCB)

Examineur : Mr. S. Ksouri (MCA)

Encadreur : Mme. M. Cherairia (MCA)

Université de Guelma

Université de Guelma

Université de Guelma

Septembre 2020

Remerciements

« Nous tenons à remercier **Dieu** le tout puissant pour nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail »

Nous tenons avant tout à exprimer nos remerciements les plus sincères à notre encadreur : **Mme. Mouna Aouissi-Cherairia**, maître de conférences à l'Université de Guelma, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour ses précieux conseils, son aide, ses suggestions sur la rédaction de ce mémoire ainsi que la confiance qu'elle nous a témoigné tout au long de cette étude

Qu'elle trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre respect

Nos vifs remerciements pour les membres du jury à commencer par :

Mme. Sorya Sansri, maître de conférences à l'Université de Guelma, qui nous a fait l'honneur de présider notre jury. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profond respect.

Mr. Samir Ksouri, maître de conférences à l'Université de Guelma pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail, qu'il trouve ici le témoignage de notre grande estime A toute personne qui a participé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce modeste travail

Dédicace

je Dédie ce travail :

A ma très chère mère « Fatiha »

Aucune dédicace très chère maman, ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous, vos sacrifices innombrables et votre dévouement firent pour moi un encouragement. Vous avez guetté mes pas, et m'avez couvé de tendresse, ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Vous m'avez aidé et soutenu pendant de nombreuses années avec à chaque fois une attention renouvelée. Puisse Dieu, tout puissant vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie. Je t'aime ...

A mon très cher père « Mohamed »

Tout l'encre du monde ne pourrait suffire pour exprimer mes sentiments envers un être très cher. Vous avez toujours été mon école de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour. Vous êtes et vous resterez pour moi ma référence, la lumière qui illumine mon chemin. Merci ...

A mon frère et mes sœurs : Riane, Arije wissal et mon cœur Ishak naceredine

Ces quelques lignes, ne sauraient traduire le profond amour que je te porte...L'amour familial que vous avez entretenu à mon égard a été un atout favorable pour l'accomplissement de ce travail. Vous resterez toujours pour moi, l'image de cette entente et de l'amour. Je vous souhaite que du bonheur et réussite Que DIEU veille sur notre famille. Amen !

A mon fiancé : Chehida Fakhre Eddine :

Pour l'amour et l'affection qui nous unissent. Je ne saurais exprimer ma profonde reconnaissance pour le soutien continu dont tu as toujours fait preuve. Tu m'as toujours encouragé, incité à faire de mon mieux, ton soutien m'a permis de réaliser le rêve tant attendu. Je prie Dieu le tout puissant de préserver notre attachement mutuel, et d'exaucer tous nos rêves.

A mes tantes : Noura et Fadila ; je t'aime énormément merci.

A la mémoire de mes grands-pères : Puisse Dieu vous avoir en sa sainte miséricorde et que ce travail soit une prière pour votre âme. Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant ma vie de près ou de loin .
.je vous aime .

A ma chère bijoux Dounya Pour tout ce que nous avons traversé ... je t'aime

Bouchra ; ma puce adorée ... je t'adore

Djihane

Je dédie ce travail à tous qui sont chers à mon cœur

A MES PARENTS spécialement à ma mère, le symbole de la tendresse, qui m'a encouragé tout au long de mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

MON BEAU PERE ET MA BELLE-MERE

Vous m'avez accueilli à bras ouverts dans votre famille. En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.

MON MARI RAHMOUN ET MON FILS NAZIM

Un dédicace à ma moitié et mon confident qui était toujours à mes côtés et m'a toujours encouragé pour faire mon mieux pour terminer ce travail et à notre fruit d'amour nazim .

A MA CHERE SŒUR SAWSEN

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous. Malgré la distance, vous êtes toujours dans mon cœur

MON FRERE RAHMOUNI.

Mon ange gardien et mon fidèle compagnant dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse.

A ma belle sœur et ma coupine Rihem ma petite sœur adorée

A toutes mes copines, Bisma , Djihane, Bouchra, Lydia, Rouna, Adila.

A toute la famille khalla et Ghaffar et Beckham ,.

Et à tous ceux qui sont chère.

Dounya

À MES CHERS PARENTS

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive

A MA TRES CHERE MERE FELLA

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi , Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études ,Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur. Merci maman

A MON TRES CHER MARI YASSINE

Je dédie mes salutations à mon mari pour mon soutien et mes encouragements dans mon parcours Merci beaucoup pour tous les esprits que vous m'avez donné et m'avez soutenu dans cette vie.

à ma grand-mère et ma grand père (Dieu repose son âme), et à mes chères oncles et tantes et à mes chers cousins et cousines

A MON FILS ZIAD

J'adresse mes salutation et que dieu le protège et le voie au -dessus des rangs

À mes chers et adorable frère et sœurs (Amar , Noura , Selma ,et Hadil) et leurs petites enfants(kaouther , Tasnim , loudjain , Mouhamed lokman , Joud)

À toutes les personnes qui ont participé a l'élaboration de ce travail à tous ceux que j'ai omis de citer

A tous les membres de ma famille , petits et grands

A mes chères ami(e)s

Bouchra

المخلص

تم تخصيص هذا العمل لدراسة تطفل اليرقات المنتمية الى عائلة ثنائيات الاجنحة ذات الأهمية الطبية والبيطرية وخاصة عائلة **Simuliidae**.

هذه الحشرات ، التي يكثر انتشارها في جميع أنحاء العالم تقريبًا ، يبلغ عددها حاليًا 2348 نوعًا ، وهي كائنات حية لاذعة تشكل في العديد من دول العالم ، ناقلات للأمراض في البشر كما في الحيوانات الفقارية ، وبالتالي تمثل مشكلة كبيرة للصحة العامة و مصدر إزعاج للماشية والدواجن

.تجري مراجعة الأدبيات المتعلقة بثنائية الاجنحة المشاركة في انتقال الأمراض إلى البشر والحيوانات

، وعلم الأحياء بشكل عام وبيئتهم **Simuliida** تم تحديد تحديث للمعايير المورفولوجية لعائلة

.تم تقديم معرض للفائدة الطبية والبيطرية للذباب الأسود

.تمت مناقشة البيانات التفصيلية حول الأعداء الطبيعيين ليرقات الذبابة السوداء، مع التركيز بشكل خاص على التطفل

.أخيرًا ، تتم مناقشة استراتيجيات الحد من انتقال العدوى و / أو المضايقات التي تسببها هذه الحشرات المخيفة للغاية

الكلمات المفتاحية: حشرات ، نيماتوسيرا ديبيرا ، سيميوليدي ، تطفل ، الأمراض المنقولة بالنواقل

Résumé

Ce travail est consacré à l'étude du parasitisme larvaire chez les Diptères à intérêt médical et vétérinaire, plus particulièrement la famille des Simuliidae.

Ces insectes, dont la répartition est presque mondiale, comptent actuellement 2348 espèces, ceux sont des organismes piqueurs qui constituent dans plusieurs pays du monde, des vecteurs de maladies autant chez les humains que chez les animaux vertébrés et représentent de ce fait un problème majeur de santé publique et une véritable nuisance pour le bétail et la volaille.

Une revue bibliographique sur les Diptères impliqués dans la transmission vectorielle à l'Homme et l'animal est avancée.

Une mise au point sur les critères morphologiques de la famille des Simuliidae, sur la biologie en général et sur leur écologie est déterminée.

Une exposition de l'intérêt médical et vétérinaire des simulies est présentée.

Des données détaillées sur les ennemis naturels des larves de simulies sont traitées, l'accent est particulièrement mis sur le parasitisme.

Enfin, les stratégies de réduction dans la transmission, et/ou des nuisances engendrées par ces insectes très redoutés sont traitées.

Mots clés : Insectes, Diptères nématocères, Simuliidae, parasitisme, maladies vectorielles.

Abstract

This work is devoted to the study of larval parasitism in Diptera of medical and veterinary interest, more particularly the family Simuliidae.

These insects, whose distribution is almost worldwide, currently number 2348 species, they are stinging organisms that constitute in several countries of the world, vectors of diseases as much in humans as in vertebrate animals and therefore represent a major problem of public health and a real nuisance for livestock and poultry.

A review of the literature on Diptera involved in vector transmission to humans and animals is in progress.

An update on the morphological criteria of the Simuliidae family, on the biology in general and on their ecology is determined.

An exhibition of the medical and veterinary interest of blackflies is presented.

Detailed data on the natural enemies of blackfly larvae is discussed, with particular emphasis on parasitism.

Finally, strategies for reducing transmission and / or the nuisances caused by these very feared insects are discussed.

Keywords: Insects, Diptera nematocera, Simuliidae, parasitism, vector-borne diseases.

SOMMAIRE

Listes des figures

Liste des tableaux

Introduction

Chapitre 1 : Revue bibliographique sur les Diptères à intérêt médical et vétérinaire.....6

1. Définition	6
2. Classifications des Diptères	7
2.1. Les Brachycères	7
2.1.1. Famille des Tabanidae	8
2.1.2. Familles des Glossinidae	8
2.2. Les Nématocères	9
2.2.1. Famille des Culicidae	9
2.2.2. Famille des Simuliidae	10
2.2.3. Famille des cératopogonidae	10
2.2.4. Famille des psychodidae	11

3. Caractères généraux des Diptères	12
Chapitre 2 : Generalite sur la famille des Simuliidae.....	14
1. Généralité sur les Simuliidae	14
2. Systématique et morphologie	15
2.1. Systématique	15
2.2. Morphologie	15
2.2.1. L'oeuf	15
2.2.2. La larve.....	16
2.2.3. La Nymphes	17
2.2.4. Adulte	18
3. Cycle de développement	19
4. Biologie et écologie	20
4.1. Distribution et habitat	20
4.1.1. Les œufs	21
4.1.2. Les larves	21
4.1.3. Les nymphes	23
4.2. Alimentation	23
5. Distribution géographique	24
5.1. Distribution géographique dans le monde	24
5.2. Distribution géographique en Algérie	25
Chapitre 3 : Intérêt médical et vétérinaire des Simuliidae	31
1. Généralités sur les insectes à intérêt médical et vétérinaire	31
1.1. Espèces gênantes par leurs piqures	31
1.2. Espèces nuisibles par la toxicité de leurs piqûres	32
1.3. Espèces vectrices de parasites	35
Chapitre 4 : Ennemis naturels et parasitisme larvaire chez les Simuliidae	45
1. Les prédateurs	45
2. Parasitisme larvaire	45
2.1. Nématodes	46
2.2. Protozoaires	49
2.3. Fungi	51
Chapitre 5 : Lutte anti - vectorielle contre les Simulidae	56

1. La lutte biologique	56
1.1. Les parasitoïdes	56
1.2. Les champignons entomopathogènes	57
2. La lutte chimique	59
2.1. Les insecticides	59
2.1.1. Les différents types d'insecticides	59
2.2. Les larvicides	60
2.3. Les huiles essentielles et autres produits alternatifs	61
Conclusion	64
Références bibliographiques	66

Liste des figures

Figure 1: Photographie d'un Tabanidae	8
Figure 2: Photographie d'un Muscidae	8
Figure 3 : Photographie d'Aedes (Stegomyia) <i>albopictus</i>	9
Figure 4 : Photographie d'une Simulie femelle	10
Figure 5 : Photographie de <i>Culicoides sonorensis</i>	11
Figure 6 : Photographie psychodidae: <i>Clogmia albipunctata</i>	12
Figure 7 : Photographie d'une Simulie femelle (genre <i>Simulium</i>)	14
Figure 8 : photographie des œufs de Simulies dans l'eau	16
Figure 9 : Photographie d'une larve de Simuliidae	16
Figure 10 : Nympe de Simuliidae attachée à une tige d'une plante aquatique	18
Figure 11 : Morphologie externe d'un adulte de Simuliidae	18
Figure 12: Cycle de développement des Simulies	20
Figure 13: Cycle de vie moyen des Simulies	21
Figure 14 : Zoogéographie mondiale des Simulies	25
Figure 15 : Localisation géographique du bassin versant de la Tafna	26
Figure 16 : Situation géographique de la Kabylie du Djurdjura	27
Figure 17 : Situation géographique du bassin versant de la Seybouse	28
Figure 18 : Carte des sites de collecte de <i>Simulium ruficorne</i> cytoforme A1 dans les montagnes du Hoggar	29
Figure 19 : Photographie de lésions consécutives à des piqûres de Simulies sur le bras de la propriétaire du caniche	34
Figure 20 : Photographie d'oreilles d'un chat piqué par des Simulies	34

Figure 21 : Photographie d'abdomen de chien piqué par des Simulies	35
Figure 22 : Photographie de terrier piqué par des Simulies	35
Figure 23 : Exemples de nodules cutanés.	38
Figure 24 : Photographie : Onchodermite	38
Figure 25 : Syndrome oculaire induit par la filaire <i>Onchocerca volvulus</i>	39
Figure 26 : Cycle biologique de la filaire <i>Onchocerca volvulus</i>	39
Figure 27 : Femmes et enfants lavant du linge dans une rivière	42
Figure 28 : Cycle de développement des Leucocytozoon aviaires	43
Figure 29 : Larves de Simulium ornatum avec des juvéniles parasites d'isomermis lairdi	48
Figure 30 : Larves de Simulium (W.) pseudequinum parasitées par un mermithide	48
Figure 31 : Microsporidies de Simulium nakhonense, disséminées dans 50% d'acide acétique.	50
Figure 32 : Larve de Simulium chamlongi manifestement infectée par Coelomycidium Simulii, montrant des thalles sphériques. A, vue latérale; B, vue ventrale de l'abdomen antérieur	50
Figure 33 : Champignons intestinaux des hôtes Simuliidae.	53
Figure 34 : Coupe longitudinale de <i>Bacillus thuringiensis</i> en fin de sporulation. Observation par microscopie électronique.....	58

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques Bio-écologiques des simuliidae	22
Tableau 2 : Espèces Simulidiennes vectrices de parasites.	37

Introduction

L'eau est essentielle non seulement pour la santé des populations, la production d'aliments et de l'énergie mais aussi pour les écosystèmes naturels. Cependant, les changements climatiques globaux ont conduit à la réduction de la quantité et la qualité de l'eau ce qui a conféré à cet élément fondamental un caractère véhiculaire de microorganismes tels que des bactéries, virus et protistes en tout genre qui y vivent et s'y développent, ainsi que de nombreux parasites dont les hôtes ont besoin d'eau pour vivre ou se reproduire (CNRS, 2013).

L'entomologie médicale et vétérinaire a pour finalité d'optimiser les stratégies et méthodes de lutte contre les maladies à transmission vectorielle (humaine ou animales).

Pour parvenir à ces objectifs, les recherches doivent s'orienter vers la compréhension précise du rôle et du comportement des vecteurs dans le fonctionnement des écosystèmes vectoriels et vers le développement de stratégies pérennes de réduction dans la transmission, et/ou de la nuisance et ce, dans un environnement en perpétuelle évolution (changements climatiques, modifications anthropiques, croissance démographique).

Cette discipline doit donc pouvoir compter sur une large diversité de compétences, tout en maintenant des collaborations étroites avec les autres disciplines concernées par ces écosystèmes vectoriels.

La transmission des maladies dites hydriques se fait à travers des organismes aquatiques qui passent une partie de leur vie dans l'eau et une autre en tant que parasites. Ces pathologies sont causées par toute une variété de vers qui affectent l'homme et l'animale et peuvent engendrer une forte diminution des capacités physiques voir même d'importantes mortalités (Mehira et Menara, 2014).

Une des caractéristiques intrinsèques, importantes, de la nature, est que tous les organismes sont sujets à l'attaque par un certain nombre d'ennemis naturels, jouant ainsi le rôle de régulateurs des populations d'insectes nuisibles (Embrapa, 2013). En effet, tout organisme vivant, du plus petit au plus grand se trouvera à un moment de sa vie la cible d'un ou plusieurs ennemis, c'est la loi de la nature (Suty, 2010).

On estime aujourd'hui que la moitié des organismes vivants sont des parasites qui colonisent dans les régions aquatiques chaudes et humides, les lieux de prédilection de leurs hôtes tels les mollusques ou larves d'insectes, dont certains affectionnent les canaux

d'irrigation quand d'autres préfèrent les eaux courantes ou encore les eaux stagnantes (Euzet, 1989).

Le parasitisme est omniprésent dans le monde du vivant et c'est l'individu non parasité qui est l'exception. Ainsi, le maintien d'individus exempts de pathogènes nécessite un effort considérable et cette omniprésence des parasites justifie à elle seule l'étude de leurs effets sur les systèmes naturels (Euzet, 1989).

La spécificité parasitaire c'est le privilège de fidélité plus ou moins stricte qui unie un parasite à son hôte ou à ses hôtes: les parasites sténoxènes sont ceux qui sont très étroitement adaptés, inféodés à un seul hôte et ne peuvent vivre chez ou aux dépens d'autres hôtes (Pou, Plasmodium , Taenia , ...); cependant, les parasites euryxènes ,au contraire, ne présentent qu'une spécificité lâche. Ils peuvent passer d'un hôte à un autre avec une plus ou moins grande facilité (insectes hématophages vecteurs des maladies communes chez l'Homme et aux animaux)(Opperdoes, 2003).

Parmi les Arthropodes piqueurs, fortement affectés par ce phénomène, les Diptères de la famille des Simuliidae (Aouissi-Cherairia, 2015) appelés aussi mouche noires, ces insectes, qui représentent un grand intérêt médical et vétérinaire, comptent (larves et nymphes), parmi les hôtes des eaux rapides, les plus abondants. Ses organismes-causent dans le monde entier des pertes économiques non négligeables au niveau de l'élevage du bétail et de la volaille et agissent dans les pays tropicaux comme vecteurs de maladies dont la majeure est l'onchocercose (ST-Onge, 2007).

L'onchocercose est une pathologie causée par un parasite affectant les larves de simulies et entraînant la cécité chez l'humain, des réactions allergiques et de la fièvre peuvent aussi être causés par les morsures des mouches noires. Chez les animaux, les simulies transmettent la leucocytozoonose, une maladie mortelle pour les dindes, les canards et les poulets. Leurs adultes entraînent aussi des pertes économiques considérables en milieu agricole (ST-Onge, 2007).

Ces Diptères très redoutés, ont aussi, par leur effet de nuisance, un impact non négligeable sur le tourisme (Adler *et al.*, 2004; Sariözkan *et al.*, 2014).

Le cycle de vie des simulies comporte trois phases de développement : adulte, nymphe et larve. Les ennemis parasites des mouches noires les affectent pour la plupart au

stade larvaire mais à la fin de leur développement, sans pour autant altérer le pouvoir filtreur des larves (ST-Onge, 2007).

Le niveau d'infestation varie d'une larve à l'autre, les parasites envahissent souvent toute la cavité coelomique larvaire, parfois jusque sous la capsule céphalique. La plupart des larves parasitées deviennent difformes et décolorées; de plus, leur taille excède quelquefois celle des larves saines à maturité (Maurand, 1973; Laparé, 1980; Sharp, 2007).

Face à la situation épidémiologique actuelle induite dans le monde par les Diptères Simuliidae, et qui est étroitement liée aux changements globaux ; notre travail s'inscrit dans le cadre d'une étude appuyée par une base bibliographique, et ce, afin de rendre possible la compréhension de l'intérêt médical et vétérinaire de ce taxon.

Notre contribution, Recherche et synthèse bibliographique, a pour finalité de contribuer à optimiser les stratégies et méthodes de lutte contre les maladies à transmission vectorielle (humaine ou animales). Pour parvenir à ces objectifs, les recherches doivent s'orienter vers la compréhension précise du rôle et du comportement des vecteurs dans le fonctionnement des écosystèmes vectoriels et vers le développement de stratégies pérennes de réduction dans la transmission, et/ou de la nuisance et ce, dans un environnement en perpétuelle évolution (changements climatiques, modifications anthropiques, croissance démographique).

Ainsi, notre manuscrit est structuré en 5 chapitres : le premier représente une revue bibliographique sur l'ensemble des Diptères à Intérêt médical, le second concerne des généralités sur la famille des Simuliidae, le troisième chapitre porte sur l'intérêt médical de ce taxon ; le quatrième traite les ennemis naturels des mouches noire en mettant plus particulièrement l'accent sur le parasitisme larvaire et enfin le dernier chapitre expose les méthodes de lutte anti vectorielle utilisées contre les Simuliidae .

Chapitre 1

revue bibliographique sur les Diptères à intérêt médical et vétérinaire

Les maladies parasitaires et virales à transmission vectorielle sont de nos jours une grande cause de mortalité . Ceux sont des pathologies pour lesquelles l'agent pathogène est transmis d'un individu infecté à un autre par l'intermédiaire d'un arthropode hématophage comme les insectes et les tiques (Mouchet, 1995).

Les arthropodes représentent plus 85 % des espèces animales connues, soit plus d'un million d'espèces dont les trois quarts sont des insectes. La plupart insectes sont inoffensifs, par contres d'autres tels que les Diptères hématophages ont un impact sur la santé humaine et animale. En effet, ces insectes, en raison de leurs hématophagie, représente un fléau à la fois par leur nuisance directe (Foil, 1989) ou encore par leur rôle de vecteurs potentiels de divers agents pathogènes (Foil et Gorhan, 2000 ; Mavoungou et *al.*, 2008).

Comme leur nom l'indique, les Diptères (mouches, moustiques, etc..) sont des Insectes qui ne possèdent qu'une seule paire d'ailes fonctionnelles ; les ailes postérieures sont transformées en « balanciers » à rôle sensoriel et dont la régression entraîne des modifications du thorax, lequel est presque exclusivement formé du mésothorax. Les pièces buccales forment une trompe piqueuse ou suceuse. Le développement est holométabole : les larves, toujours apodes, se métamorphosent en nymphes ; celles-ci peuvent être mobiles (moustiques), d'autres sont enfermées dans une enveloppe dure ou puparium (mouches), les familles composant cet ordre manifestent une écologie extrêmement variée (Gaumont, 2020).

1. Définition :

Les Diptera sont l'un des ordres d'insectes les plus importants et les plus diversifié, à la fois en raison de leur morphologie, de leur écologie et de leur importance en entomologie médicale et vétérinaire. « Diptère » signifie deux ailes et cela vient du fait que ces insectes ont perdu la seconde paire d'ailes, qui est remplacée par une paire d'ailes, qui remplacée par une paire d'organes nommés haltères ou balanciers (Adler et McCreddie, 2017).

Le nombre d'espèces décrites au niveau mondial est de 160000, ce qui représente environ 10% de toutes les espèces animales connues. Les spécialistes estiment qu'il doit exister entre 400000 et 800000 espèces de Diptères. Les entomologistes amateurs en général, s'intéressent plus aux coléoptère, aux lépidoptères aux orthoptères ou aux odonates qu'aux Diptères, souvent moins spectaculaire et dont l'étude est plus difficile (Adler *et* McCreddie, 2017).

Ceux sont des arthropodes mandibulés appartenant à la classe des insectes, ceux sont des organismes ptérygotes possédant une paire d'antennes, trois paires de pattes et un corps segmenté avec trois parties bien distinctes : tête, thorax et abdomen (Berthet-Beaufils, 2010).

Les Diptères adultes ne possèdent qu'une seule paire d'ailes, la deuxième paire est en effet transformée en haltères (ou balanciers) et sert d'organe de stabilisation pendant le vol . Le développement des Diptères comporte un nombre variable de stades larvaires apodes séparés par des mues (holométaboles). Ces stades constituent souvent la forme de résistance en hiver, la dernière mue libère une nymphe mobile (Bussiéras et Chermette, 1991).

On parle de puppe si la nymphe est immobile dont la métamorphose produit un adulte avec un appareil buccal de type piqueur-suceur, piqueur ou lécheur, la forme et le nombre des pièces buccales sont variables en fonction du régime alimentaire (Bussiéras et Chermette, 1991).

2. Classifications des Diptères :

Sur le plan de la médecine humaine et vétérinaire, l'ordre des Diptera occupe la première place, soit par le rôle de vecteur d'organismes pathogènes de certains de ses représentants, soit par la nuisance d'autres (Rodhain et Perez, 1985).

Le Développement des Diptères subissent des métamorphoses complètes, les larves sont vermiformes, dépourvues de pattes, et leur tête est plus ou moins différenciée. Les nymphes sont libres, immobiles ou non, certaines sont enfermées dans un paparium, sorte d'enveloppe dure et lisse constituée par la dernière mue larvaire (Séguy, 1951).

Selon les caractères donnés par les antennes, les palpes et les ailes, les Diptères se divisent en deux sous-ordres (Grasse, 1985).

2.1. Les Brachycères :

Ce sont des Diptères au corps trapu, antennes courtes, généralement à 3 articles Ils sont caractérisés par des palpes dressés et ils se divisent en deux grandes groupes les orthorrhaphes (Taons, Asilides, Bombyles...etc.) et les cyclorrhaphes (syrphes, trypétides, muscides, calliphorides...etc) (Borroret *al.*, 1992).

2.1.1. Famille des Tabanidae :

Les taons sont des Diptères de grande taille dont la distribution est cosmopolite (Figure 1), se sont des vecteurs mécanisme de trypanosome ,Ils transmettent la Loase (filariose sous-cutanée) due à l'espèce *Loa loa* dont le vecteur appartient au genre *Chrysops* (Poinsignon, 2005).



Figure 1: Photographie d'un Tabanidae (1).

2.1.2. Familles des Glossinidae :

Diverses espèces sont hématophages et les plus importantes sont les stomoxys (Figure 2) qui transmettent des trypanosomiasés et les glossines ou *TséTsé* fréquentes en Afrique qui transmettent à l'homme la maladie du sommeil et aux animaux le nagana particulièrement néfaste au bétail (in Boubrouta et Iguernlaala, 2014).



Figure 2: Photographie d'un Muscidae (2).

2.2. Les Nématocères :

Ceux sont les Diptères de type moustique à corps élancé, antennes généralement longues et filiformes avec plus de six articles et dont le développement orthorrhaphes espèces parasites à femelles seules hématophages (Busséras et Chermette, 1991). Les Nématocères hématophages sont caractérisés par leurs pièces buccales de type piqueur (labium ventral, labium dorsal, deux maxilles pour les femelles uniquement et l'hypopharynx) groupées pour constituer une trompe. La base de la trompe porte deux palpes maxillaires et l'extrémité de la gaine (labium) deux labelles servant à guider les pièces buccales lors de la pique (Ripert, 2007).

Les nématocères compte quatre familles : les culicidae, les cératopogonidae, les psychodidae et les simuliidae (Busséras et Chermette, 1991).

2.2.1. Famille des Culicidae :

Les culicidae ou moustiques font partie de l'ordre des Diptères et au sous-ordre des Nématocères. Selon Seguy (1951), les moustiques se distinguent des autres Nématocères piqueurs par leur trompe longue et la présence d'écailles sur les nervures alaires.

Les Culicidae se divisent en trois sous-familles : les Taxorhynchitinae, les Anophelinae, les Culicinae. La famille des Culicidae comprend environ 3000 espèces (Knight et Stone, 1977). En Algérie, 50 espèces des Culicidae de 6 genres différents sont regroupés dans les sous-familles des Anophelinae (Figure 3) et les Culicinae (Hassaine, 2002).



Figure 3 : Photographie d'*Aedes (Stegomyia) albopictus* (3).

2.2.2. Famille des Simuliidae :

Ce sont de Petits insectes noire et trapus, les Simulies mesurent entre 2 et 4 mm de long .Elles ont des pattes courtes, un corps ramassé, un thorax vouté et des ailes larges et transparentes (Raastad, 2007). Leurs antennes sont relativement courtes, mais formées de 11 articles empilés, concernant la transmission des maladies le *Simulium* est le genre principale avec 38 sous-genre dont le *Simulium damnosum* est l'espèce qui pique notamment l'homme en Afrique (Bussérias et Chermette, 1991).Ce sont de petites mouches bossues dont les femelles hématophages du genre *Simulium* (Figure 4) transmettent la filaire *onchocera volvulus* qui provoque l'onchocercose ou la cécité des rivières qui ce rencontre en Afrique Centrale et du Sud (Poinsignon, 2005) ainsi que des réactions allergiques à leurs piqûres et représentent de ce fait sont une grande importance chez l'homme et les animaux domestiques. A la différence des moustiques qui piquent (solénophages), les Simulies mordent la peau de leurs hôtes et lèchent ensuite le sang qu'elles ingèrent (télmophages) (Raastad, 2007).



Figure 4 : Photographie d'une Simulie femelle (4).

2.2.3. Famille des cératopogonidae :

Les cératopogonidae sont des insectes minuscules agressifs pour l'homme et les animaux dont la taille varie de 0,8 à 2,5 mm, (Ripert, 2007) ; ils sont caractérisés par une trompe courte et une faible dimension avec des antennes longues, moniliformes et des ailes velues, (Bussérias et Chermette, 1991). Le genre *Culicoiides* (Figure 5) dont l'espèce *Culicoiides imicola* constitue le principal vecteur de la fièvre catarrhale en Afrique (Ripert,

2007). Beaucoup de ces Diptères attaquent l'homme ou les vertébrés (mammifères, oiseau), et sont particulièrement crépusculaires. Ils constituent une importante nuisance et certaines espèces sont vectrices d'agents pathogènes (filaires, arbovirus) (Rodhain et Perez, 1985).



Figure 5 : Photographie de *Culicoides sonorensis* (5).

2.2.4. Famille des psychodidae :

Les psychodidae sont des insectes dont les antennes sont de calibre uniforme, ailes velues (Figure 6) avec un seul genre important *Phlebotomus*, ils sont cosmopolites mais surtout abondants dans les régions chaudes. La femelle est hématophage par tèmophagie (Busséras et Chermette, 1991). Ce sont des insectes d'aspect très fragiles, bossus et de petite taille (1 à 4 mm) avec une couleur pale (jaune, grisâtre ou brunâtre) et fortement velus. Ils sont caractérisés par des pièces buccales formées de (labre, mandibule, maxilles, hypopharynx, labium) forment un proboscis assez court et ailes très velues, en forme lancéolée (Rodhain et Perez, 1985).

La famille du phlébotominae, dont l'activité est nocturne ou crépusculaire) regroupe environ 700 espèces dont 70 espèces des genres *Phlebotomus* et *Lutzomyia* transmettent les protozoaires du genre *leishmania*, diverses arboviroses (phlébovirus, vésiculovirus, et orbivirus). (Dieng, 1995). Les phlébotomes sont le pivot central de l'épidémiologie des leishmanioses dont ils sont les vecteurs exclusifs, C'est l'exemple même de la maladie à focalisation vectorielle (sans *phlébotomes* pas de leishmanioses). Ils transmettent aussi à l'homme les arbovirus responsables du groupe des fièvres à *phlébotomes* et *bartonelle*

bacilliformis, agent de la verruga péruvienne et de de la fièvre de Oroya (Léger et Depaquit, 2007).



Figure 6 : Photographie psychodidae:*Clogmia albipunctata* (6).

3. Caractères généraux des Diptères :

Les Diptères sont considérés comme des insectes très évolués, avec les caractères imaginaires suivants (Adler et McCreadie, 2017):

- ✓ La présence d'une seule paire d'ailes membraneuses, mésothoraciques .
- ✓ Le développement considérable du mésothorax qui contient les muscles du vol.
- ✓ Un prothorax et un métathorax très réduits ; ce dernier porte les haltères ou balanciers. ceux-ci considérés comme organes sensoriels, battent en même temps que les ailes à la manière de gyroscopes permettant de contrôler le vol, de virer, monter ou descendre très rapidement.
- ✓ Des tarsi de cinq articles (à l'exception des Cecidomyiidae) qui se terminent par deux griffes recourbées, appelées pulvilles , et une troisième médiane , l'arolium , qui peut être absent ou réduite à une soie , l'empodium .
- ✓ Un appareil buccal suceur, piqueur-suceur ou non-fonctionnel.
- ✓ Une taille petite à moyenne (0,5 mm à 8 cm).
- ✓ Un développement holométabole avec des larves eucéphales, hémicéphales ou acéphales qui sont toujours dépourvues de pattes articulées thoraciques.
- ✓ Des nymphes libres ou bien encloses dans un puparium (pupes).

Chapitre 2
présentation de la famille
des Simuliidae

1. Généralité sur les Simuliidae :

Les Simuliidae (appelés aussi mouches noires) sont des Diptères nématocères de petite taille colonisant les eaux courantes. Comme tous les Diptères, ce sont des holométaboles. Les adultes sont aériens, les stades pré-imaginaux aquatiques sont strictement dulçaquicoles, rhéophiles ou rhéobiontes. Les larves et les nymphes se fixent, soit sur des supports immergés, rochers et cailloux, plantes vivantes ou mortes, soit sur des substrats ancrés flottants à la surface de l'eau dans la zone de courant : tiges, racines, stolons, feuilles. Certaines espèces sont phorétuques tant pour leur stade larvaire que nymphal, d'Insectes aquatiques, de Crabes ou de Crevettes. Les adultes de *Simulies* sont aériens et strictement diurnes ; les femelles sont hémato-phages et se nourrissent aux dépens d'animaux à sang froid ou chaud dont l'homme (Figure 1) tandis que les mâles sont floricoles (Adler et McCreadie, 1997; Adler et McCreadie, 2002).

Les *Simulies* colonisent tous les continents excepté l'Antarctique (Crosskey, 1990, Adler *et al.*, 2004). Par l'abondance de leurs piqûres, elles constituent dans de nombreux pays une nuisance pour le bétail et l'homme. En Afrique et dans certains pays d'Amérique du Sud, certaines espèces (complexes *S. neavei*, *S. damnosum* et *S. ochraceum*) sont vectrices de l'onchocercose, filariose cécitante pour l'homme, due à la filaire *Onchocercu volvulus* (Leuckaxt, 1893), Plusieurs espèces sont également vectrices d'onchocercoses animales.



Figure 7 : Photographie d'une Simulie femelle (genre *Simulium*) (7).

2. Systématique et morphologie :

2.1. Systématique :

Du point de vue systématique, les Simuliidae sont rangés parmi les Diptères Nématocères (Adultes avec antennes courtes) et selon le dernier inventaire d'Adler (2020) cette famille comprendrait à l'échelle mondiale 2348 espèces actuelles distribuées entre 26 genres et subdivisées en trois sous-familles parasimuliini, prosimuliini et simuliinae. La position systématique du taxon est suivante:

- Règne : Animal
- Embranchement : Arthropode
- Sous-embranchement : Hexapode
- Classe : Insecte
- Sous classe : Ptérygote
- Super ordre : Endoptérygote
- Ordre : Diptère
- Sous ordre : Nématocères
- Famille : Simuliidae

2.2. Morphologie :

La descriptions des différents stades de développement des Simuliides a été bien élucidée par divers travaux : Smart (1944), Grenier (1953), Davies *et al.* (1962), Wood *et al.* (1963), Chance (1970), Craig (1975), Ross et Craig (1979), Deligne et De Vos (1981), Peterson (1981), Adler et Kim (1986) et Adler *et al.* (2004).

2.2.1. L'oeuf :

Les œufs sont de très petite taille (0,1 - 0,5 mm selon les espèces) et de silhouette grossièrement triangulaire. De couleur blanche lors de la ponte, ils deviennent rapidement brunâtres. Leur coque apparaît lisse au microscope optique mais de récentes études au microscope électronique ont révélé des ornements qui pourraient avoir un certain intérêt taxonomique (Adler *et al.*, 2004). Les œufs sont généralement enrobés d'une substance gluante et groupés en amas (Figure 2) qui tapissent les supports immergés : feuilles, brindilles, branches, rochers, etc (Butler *et al.*, 2013).

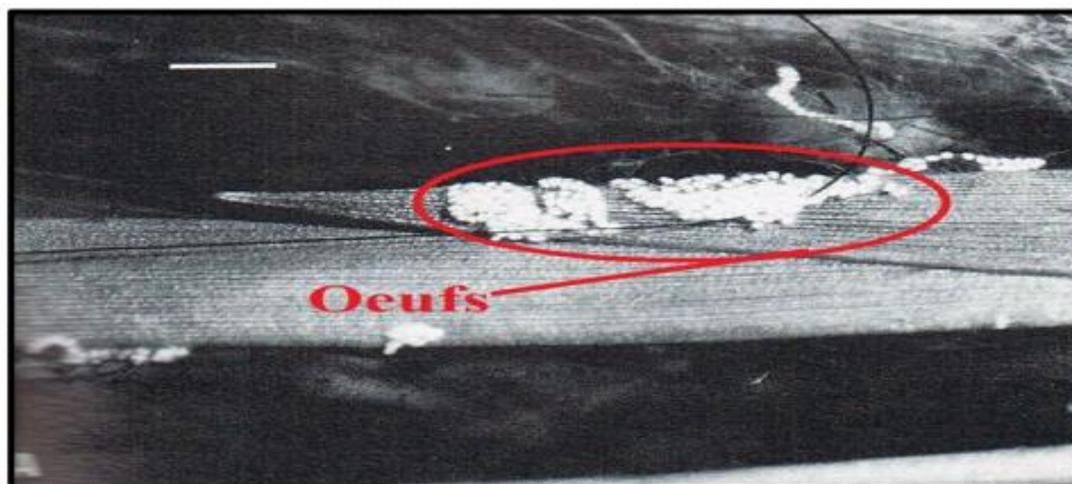


Figure 8 : photographie des œufs de Simulies dans l'eau (Adler et kim ,1986).

2.2.2. La larve:

Les larves sont d'un brun verdâtre (Figure 3) et mesurent 5mm à 1cm de long. Elles ont la peau lisse presque sans segmentation apparente. Le corps, en forme de massue, se compose d'une tête cylindrique bien chitinisée, de trois segments thoraciques et de huit segments abdominaux dont l'extrémité est fortement renflée (Chaoui Boudghene- Bendiouis, 2016).



Figure 9 : Photographie d'une larve de Simuliidae (in Mehira et Menara, 2014).

- Tête :

Est nettement hémisphérique, les pièces buccales typiquement broyeuses, sont complètes (labre, éventails céphaliques, mandibules, maxilles, complexe labio-hypopharygien et hypostomium) (Deligne et De Vos, 1981).

- Thorax :

Le thorax porte un pseudopode antérieur ventral qui correspond à une fausse patte mobile du prothorax composé d'un long article basal surmonté d'un article apical qui se termine par une couronne de crochets concentriques entourant un disque apical. Ces crochets, sont alignés le long de quelques dizaines de rangées, leur nombre et leur densité peuvent varier d'une espèce à l'autre (Deligne et De Vos, 1981).

- Abdomen :

Il est allongé, renflé au niveau du tiers postérieur et vaguement annelé, ce segment se termine par un disque nommé pseudopode postérieur qui joue un rôle primordial dans le comportement de la larve, vu qu'il lui permet de se fixer en plein courant (Puri, 1925).

2.2.3. La Nymphes :

Les nymphes sont logées dans un cocon de soie tissé par la larve de dernier stade, l'insecte à ce stade devient immobile et est fixée au substrat par sa face ventrale (Figure 4). La forme du cocon et son tissage constituent des éléments très importants pour l'identification des espèces (Rubstov, 1989; Adler *et al.*, 2004) .

Le céphalothorax est robuste, il porte les yeux et les antennes et surtout l'appareil respiratoire ou filaments respiratoires de part et d'autre du thorax. Ces filaments, par leur nombre et leur forme, sont sans doute le caractère taxonomique le plus important pour les déterminations spécifiques des Simulies immatures.

L'abdomen de la nymphe est effilé, il porte plusieurs lignes d'épines et de crochets qui permettent à la nymphe de s'accrocher à l'intérieur de son cocon (Rubstov, 1989).



Figure 10 : Nymphe de Simuliidae attachée à une tige d'une plante aquatique (8).

2.2.4. Adulte :

Les individus de ce stade, aériens, ressemblent à des moucheron (Figure 5) de un à six millimètres de taille dont l'aspect est trapu et bossu avec des yeux présentent un dimorphisme sexuel : chez la femelle, ils sont séparés par un front tandis que chez le mâle, ils sont contigus (absence de front) ; les ailes sont larges avec une nervation très caractéristique (Kabre, 1998).

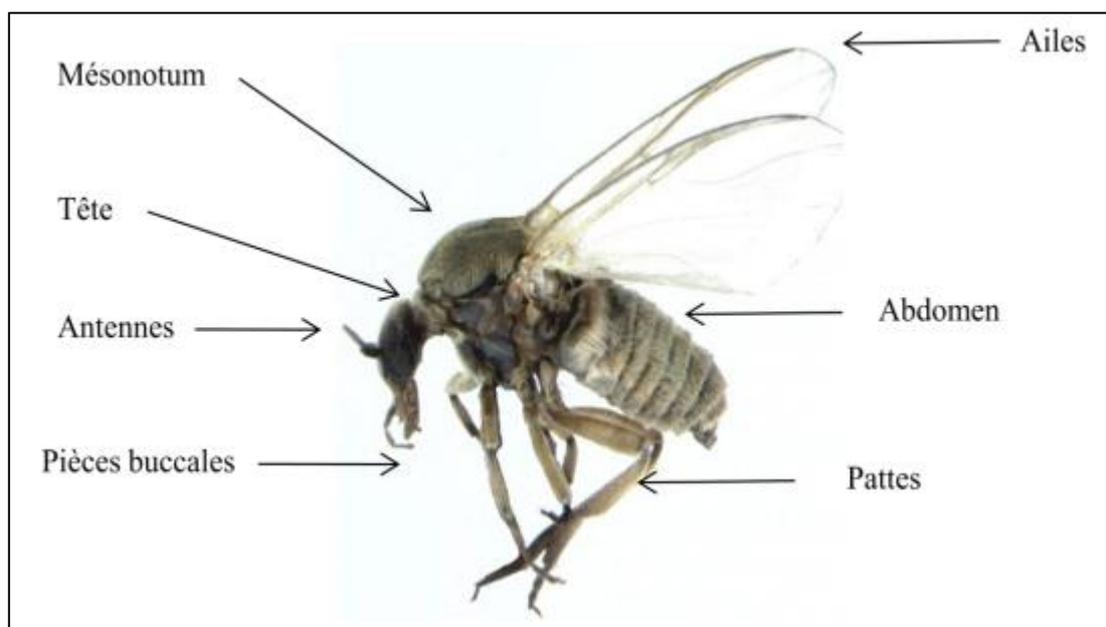


Figure 11 : Morphologie externe d'un adulte de Simuliidae (in Mehira et Menara, 2014).

- Tête :

Comme chez les nymphes, le dimorphisme sexuel est évident au niveau des yeux, ils sont holoptiques chez les mâles et dichoptiques chez les femelles. Les antennes sont semblables chez les deux sexes. Selon les espèces, le nombre d'articles antennaires varie (entre neuf et onze articles) ainsi que leur couleur et leur longueur. Les pièces buccales sont complètes et piqueuses chez les femelles ; les pièces vulnérantes sont le labre, les mandibules (en forme de larges lames serrulées à l'apex et pourvues d'un système de coaptation) et les maxilles (en forme de robustes stylets dentés) ; l'hypopharynx est une lame mince et molle et le labium, charnu, est semblable à celui des Tabanidae (Metri, 2016).

- Thorax :

Il est constitué de trois segments. L'unique paire d'ailes est portée par le deuxième segment thoracique ou mésonotum bien développé qui donne l'aspect bossu à l'insecte (Metri, 2016).

- Abdomen :

Ce segment comprend dix segments dont neuf bien visibles, le dernier peu visible portant les genitalia et les deux cerques (Metri, 2016).

3. Cycle de développement :

Le développement des Simulies est en grande partie influencé par l'environnement ; en effet, leur croissance comporte deux phases distinctes (Figure 6) : une phase préimaginale en milieu aquatique qui regroupe le stade œufs, larve et nymphe et une phase aérienne qui concerne l'adulte ou imago (Harcel, 2008). Les Simuliidae se reproduisent par des œufs qui sont déposés sur des supports émergents à la surface des eaux courantes et qui vont éclore au bout de 24-28 heures pour donner naissance à des larves qui se fixent sur des supports immergés en dépliant leurs brosses labiales en quête de nourriture. La durée des stades larvaires s'étale généralement sur 5 à 10 jours et s'effectue en 7 stades successifs ; cependant, cette durée est d'autant plus courte que la température de l'eau est élevée (Figure 7). La larve du 7^{ème} stade évolue en nymphe immobile après tissage d'un cocon qui lui permet de rester fixée à son substrat, durant ce stade l'insecte cesse de se nourrir et l'émergence de l'adulte a lieu 3 à 4 jours à la surface de l'eau, influencée à la fois par la température de l'eau et la lumière (Rout, 2011).

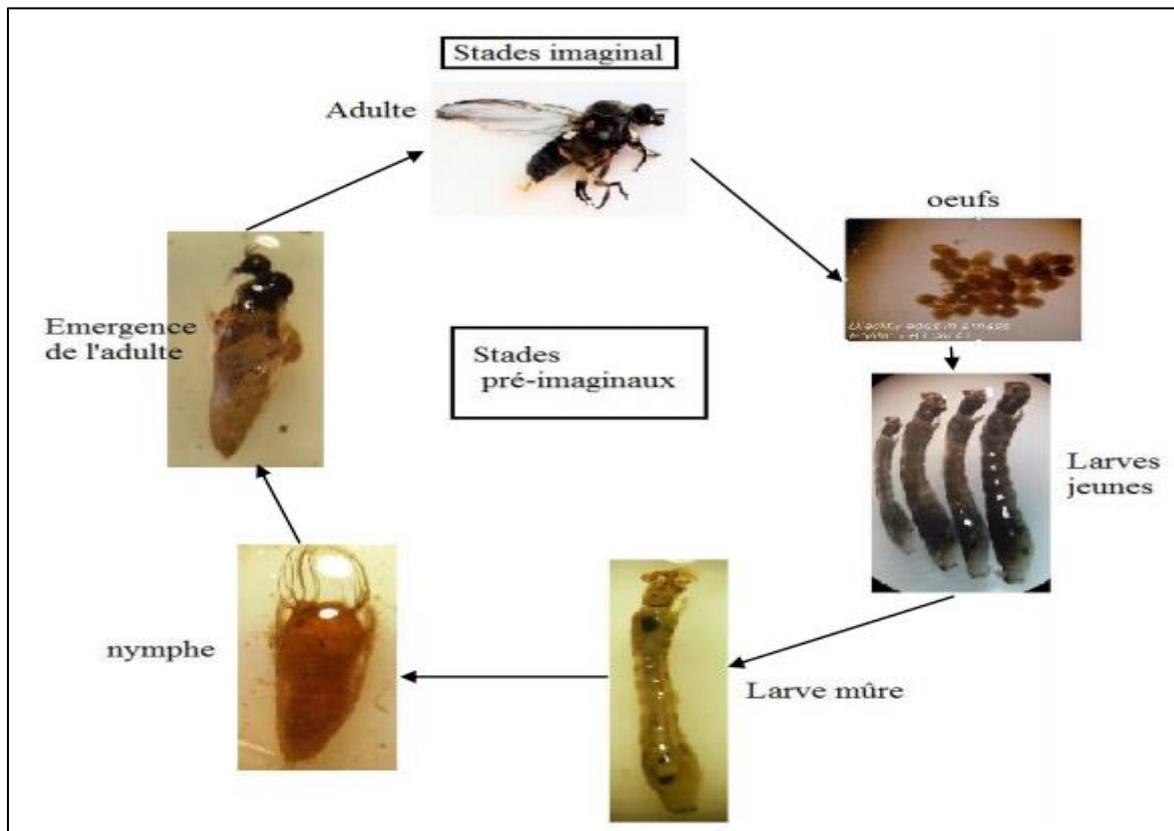


Figure 12: Cycle de développement des Simulies (Metri, 2016).

4. Biologie et écologie :

4.1. Distribution et habitat :

Le développement de tous les stades préimaginaux a lieu dans les eaux courantes (Tableau 1). Certaines espèces sont éclectiques alors que d'autres exigent un type particulier de cours d'eau : espèces de plaine, de montagne, d'eau presque stagnante, de courants vifs, de rapides, de chutes et cascades, de petits ruisseaux, de fleuves (Adler *et al.*, 2004).

Le cycle de vie des Simulies varie selon les espèces (Figure 7), les stades immatures (œufs, larves et nymphes) sont aquatiques alors que l'adulte est aérien. L'accouplement des Simulies est généralement aérien près des gîtes larvaires (Chaoui Boudghane-Bendiouis, 2016).

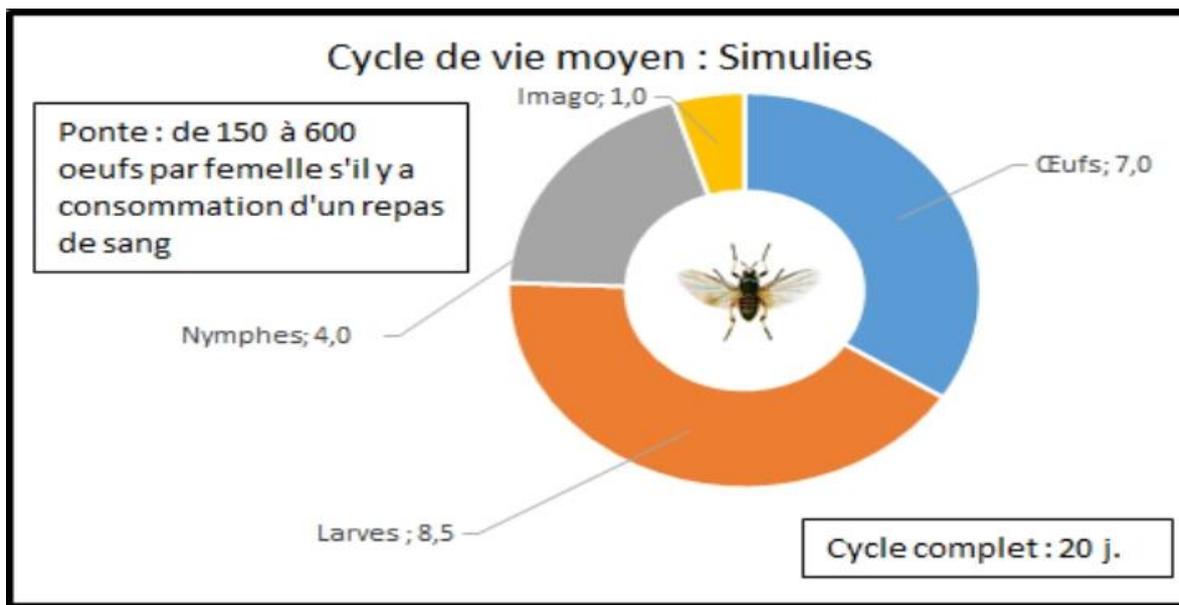


Figure 13: Cycle de vie moyen des Simulies (9).

4.1.1. Les œufs :

Les oeufs sont collés en amas gluants (ou, beaucoup plus rarement, isolément) sur les supports immergés dans le courant : herbes, branches, feuilles, brindilles, pierres, rochers, etc.). La durée de l'incubation varie beaucoup selon les espèces et, pour une même espèce, avec la température ; elle peut s'étaler sur quatre mois dans les régions tempérées et certaines espèces des régions froides hivernent à l'état d'œufs (Philippon, 1978).

4.1.2. Les larves :

Les larves sont mobiles mais vivent fixées sur les supports immergés où leur couronne postérieure de crochets est ancrée dans une goutte de soie sécrétée par les glandes séricigènes. Les larves néonates éclosent en perçant la coque de l'œuf à l'aide d'une dent portée par le clypeus et qui caractérise seulement le premier stade larvaire. Les larves se déplacent sur leurs supports à la manière des chenilles arpeuteuses, en ancrant tout à tour dans des gouttes de soie les crochets de l'abdomen et ceux du pseudopode thoracique.

Tableau 1: Caractéristiques Bio-écologiques des simuliidae (Rouet, 2011).

Stades larvaires	Gites larvaires	-Eaux douces courantes bien oxygénées. -pentes des barrages, gués, cascades, rapides...	
	Régime alimentaire	-Organismes capturés par filtration du courant : petits crustacés, protozoaires, bactéries, algues, fragments de végétaux, autre larves.	
	Durée	4 à 6 semaines (7 stades).	
Stade nymphal	Ecologie	Aquatique, immobile.	
	Durée du stade	1 à 2 semaines (4 semaine si condition défavorables).	
Stade adulte	Morphologie	-Taille : 1 à 6 mm. -Aspect de petits moucheron, trapus. -Couleur sombre : noire, rougeâtre à jaune. -Gros yeux séparés par un front chez les femelles. -Antennes relativement courtes. -Griffes à l'extrémité des pattes. -Trompe courte.	
	Régime alimentaire	Males	Sucs végétaux
		Femelles	Hématophages (+ sucs végétaux)
	Durée	Au moins 2 à 3 semaines.	
	Hôte habituels	-Mammifères 90 % des cas. -oiseaux (espèces ornithophiles). -Aucune espèce n'est exclusivement anthropophile.	

Accidentellement ou en cas de danger, la larve peut se déplacer d'amont en aval au fil du courant ; elle sécrète alors un fil de soie, qui reste amarré à son support initial, et qui lui sert de dispositif de sécurité ; la larve peut ensuite remonter d'aval en amont vers son support d'origine en se hissant le long de ce fil grâce au labre et au pseudopode thoracique (Philippon, 1978).

4.1.3. Les nymphes :

La larve du dernier stade, parfois appelée prénympe, tisse le cocon de la future nymphe, grâce à la soie sécrétée par les glandes séricigènes. Ce cocon est hé sur des supports minéraux, végétaux (et animaux pour certaines espèces) ; l'ouverture du cocon est dirigée vers l'aval. La nymphe est complètement immobile à l'intérieur de son cocon. A l'éclosion, elle se gonfle d'air, l'exuvie se rompt suivant une ligne longitudinale dorsale, et l'imago est entraîné vers la surface, enfermé dans une bulle d'air. Comme celle des larves, la durée de vie des nymphes varie fortement en fonction des espèces et de la température ; elle est toutefois toujours nettement plus courte que la durée de vie larvaire ; elle est probablement un peu plus longue chez les nymphes femelles que chez les nymphes mâles. Certaines espèces des pays froids hibernent à l'état nymphal (Philippon, 1978).

4.2. Alimentation :

Les mouches noires des deux sexes se nourrissent de nectar floral, cependant les femelles, capables de se déplacer sur de longues distances, sont pour la plupart hématophages. Dans l'eau, les larves se nourrissent par filtration en retenant les particules alimentaires de tailles très diverses en suspension dans l'eau grâce à leurs éventails céphaliques déployés (Chaoui Boudghane-Bendiouis, 2016). Les Simuliidae font partie de plusieurs chaînes trophiques. Dans l'eau, les stades immatures sont mangés par différents prédateurs et particulièrement les insectes Trichoptères, Odonates, Hémiptères et Diptères (Werner & Pont, 2006). Les adultes terrestres constituent une abondante source de nourriture pour de nombreuses espèces insectivores telles les oiseaux, les reptiles, les chauves-souris et autres.

Toutes les espèces de Simulie se développent au stade larvaire et nymphal dans les eaux rapides tel que le complexe d'espèce *Simulium damnosum* qui fréquente des cours d'eau très variés en passant des grands fleuves jusqu'aux petites rivières; dans ces milieux, différents facteurs écologiques conditionnent l'existence des habitats larvaires à savoir (Aouissi-Cherairia, 2015):

- La vitesse du courant.
- Présence de substances nutritives appropriées.
- Présence de substrats adéquats pour la fixation.
- Présence de certains facteurs biologiques tels que le parasitisme qui agit négativement en réduisant ainsi la productivité de l'insecte.
- L'action anthropique (Construction de barrage, déforestation) sur le milieu qui influence sur la production et la présence des gîtes larvaires (Zoubga, 1981).

5. Distribution géographique :

5.1. Distribution géographique dans le monde :

La répartition géographique des espèces permet de délimiter leur aire d'extension d'une part, mais aussi la capacité de ces espèces à coloniser des milieux aux facteurs écologiques diverses, d'autre part (Zoubga, 1981), les simulies ne font pas l'exception et ces Diptères ont été recensés dans la majorité des contrées du monde (Figure 14) (Crosskey, 1990).

Les Simuliidae représentent une famille structurellement homogène, avec une aptitude extraordinaire à habiter la majorité des îles du globe terrestre témoignant de leur grande capacité de dispersion et de colonisation (Crosskey, 1990).

Actuellement le nombre d'espèces nominales de mouches noires réparties dans le monde entier et de 2000, ce taxon est présent dans tous les continents excepté l'Antarctique. Ces insectes peuplent également la plupart des grands archipels sauf Hawaï, les îles Malouines et îles désertes isolées (Adler, 2008, Adler, 2020).

Ces insectes sont largement répandus dans les ruisseaux et rivières du monde entier, depuis des régions se trouvant à des altitudes très basses jusqu'à des élévations très importantes (jusqu'à 5 000 mètres d'altitude) (Adler *et al.*, 2004, Adler et Crosskey, 2017).

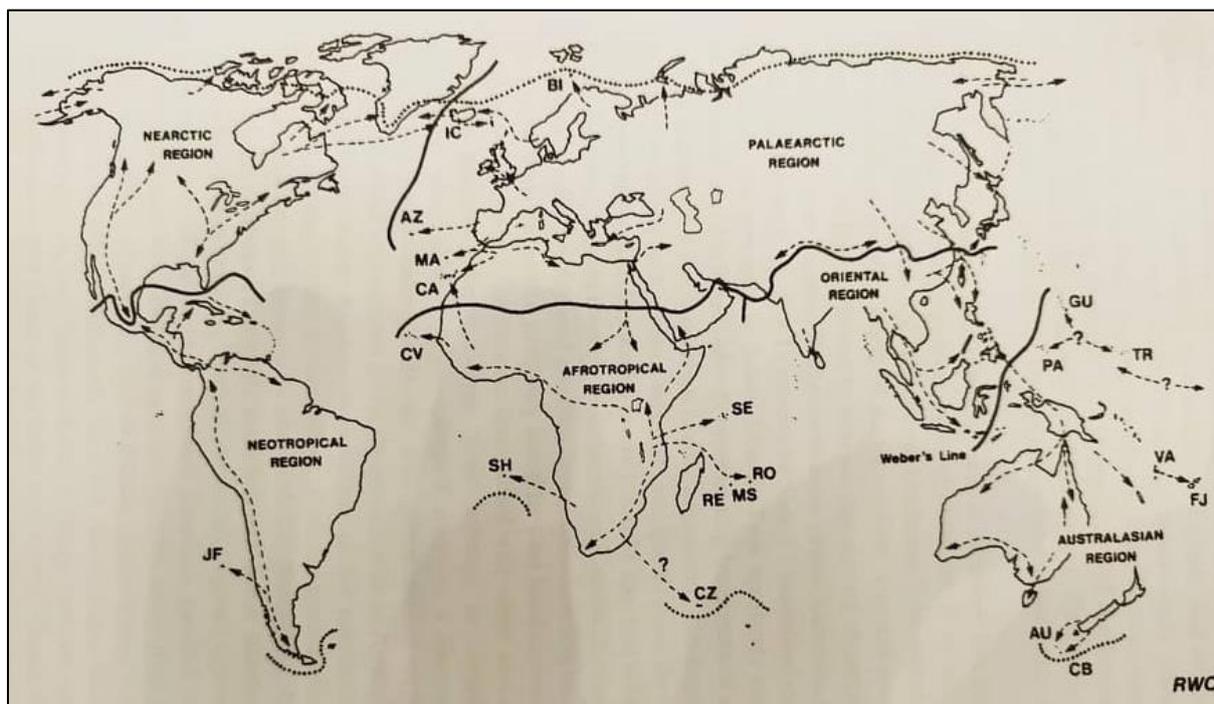


Figure 14 : Zoogéographie mondiale des simulies (Crosskey, 1990).

(Les lignes épaisses montrent les limites entre les régions zoogéographiques, les lignes pointillées montrent les limites Nord et Sud de la répartition des simulies; les flèches indiquent certaines voies de dispersion probables. Iles habitées par les simulies: UA: île d'Auckland; AZ: Açores; BI: l'île aux ours (Björnöya); CA: îles Canaries; CB: île Campbell; CV: îles Crozet; FJ: Fidji; GU: Guam; IC: Islande; JF: îles Juan Fernández; MA: Madère; MS: Maurice; PA: île de Palau; RE: Réunion; RO: Rodriguez; SE: Seychelles; SH: île de Sainte-Hélène; TR: îles Truk; VA: Vanuatu).

5.2. Distribution géographique en Algérie:

La faune Simulidienne d'Algérie, composée actuellement de 34 espèces valides, est en position intermédiaire entre les pays voisins avec 44 espèces pour le Maroc et 18 espèces pour la Tunisie (Belqat *et al.*, 2018).

Parmi les macroinvertébrés benthiques des Oueds Algériens, les larves et les nymphes de Simuliidae sont sans doute les organismes qui ont le moins retenu l'attention des chercheurs algériens. Mis à part le premier inventaire de Grenier (1953), les anciens travaux étaient consacrés à la description d'espèces et rarement à leur écologie (Edwards, 1923 ; Parrot, 1949 ; Vaillant, 1955). Durant ces trois dernières décennies, les seules données écologiques sont celles de Gagneur et Clergue-Gazeau (1988), Clergue-Gazeau *et al.* (1991), Lounaci *et al.*

(2000) et plus récemment celles de Chaoui-Boudghane Bendiouis et *al.*(2012, 2014, 2016) et Cherairia et *al.*(2014) et Cherairia et Adler (2018).

Les études de la distribution de la faune Simuliidienne en Algérie ont concerné notamment la partie Nord du pays:

- Nord Est : bassin versant de la Seybouse (Figure 15) (Cherairia et *al.*, 2014 ; Adler et al. 2015; Aouissi-Cherairia, 2015).
- Nord Centre: la Kabylie du Djurdjura (Figure 16) (Lounaci et al.2000a, 2000b; Boukhateb, 2013; Amghar et Boussouel, 2015 ; Madani et Moussous, 2016).
- Nord Ouest: bassin versant de la Tafna (Figure 17) (Chaoui Boudghane-Bendiouis *et al.* 2012, 2014, 2016).
- Désert du Sahara: massif du Hoggar (Figure 18) : (Cherairia et Adler, 2018).
- Région de Biskra : Arigue *et al.*, 2016.

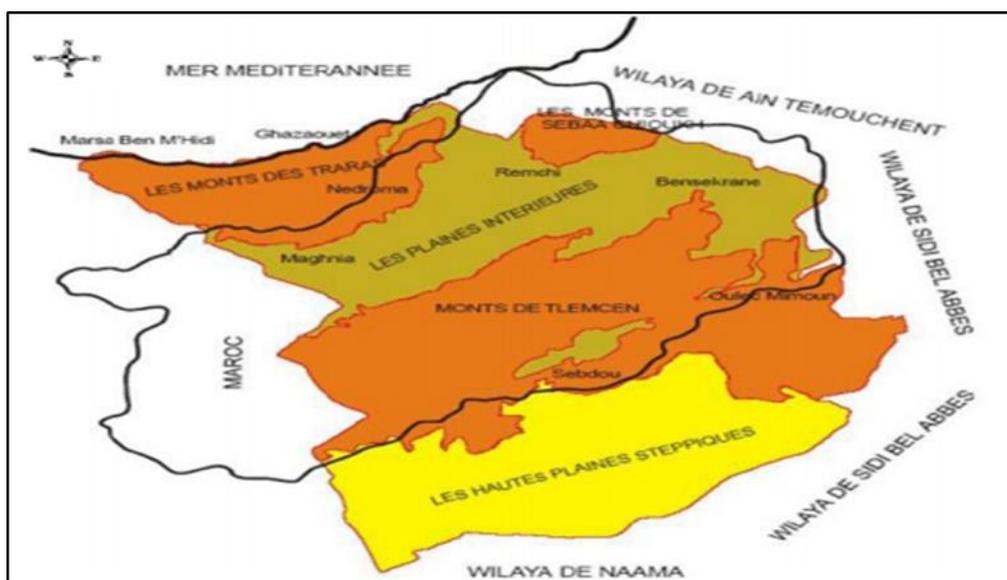


Figure 15 : Localisation géographique du bassin versant de la Tafna (in Chaoui Boudghane-Bendiouis , 2015).

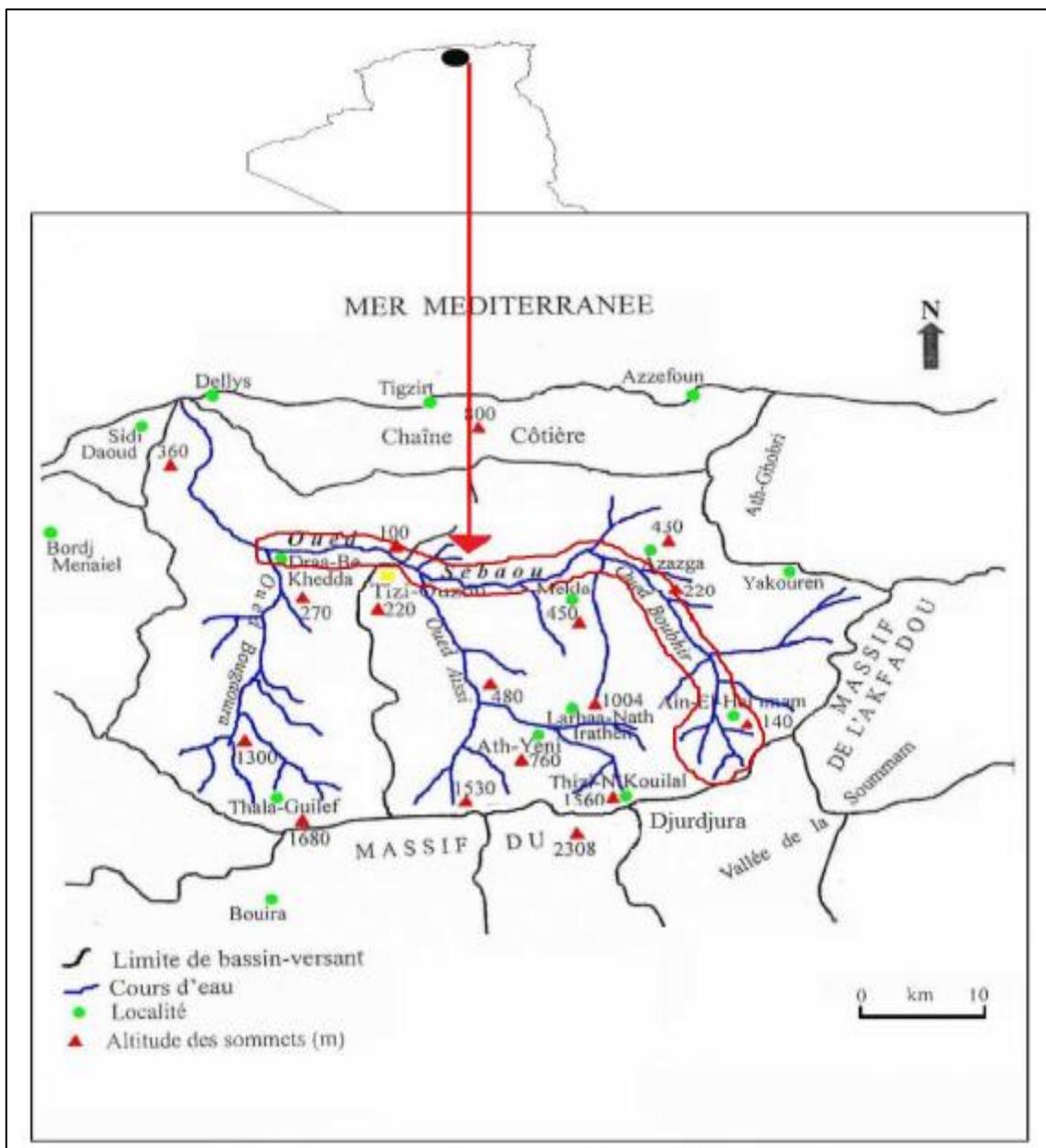


Figure 16 : Situation géographique de la Kabylie du Djurdjura (in Amghar et Boussouel, 2015).

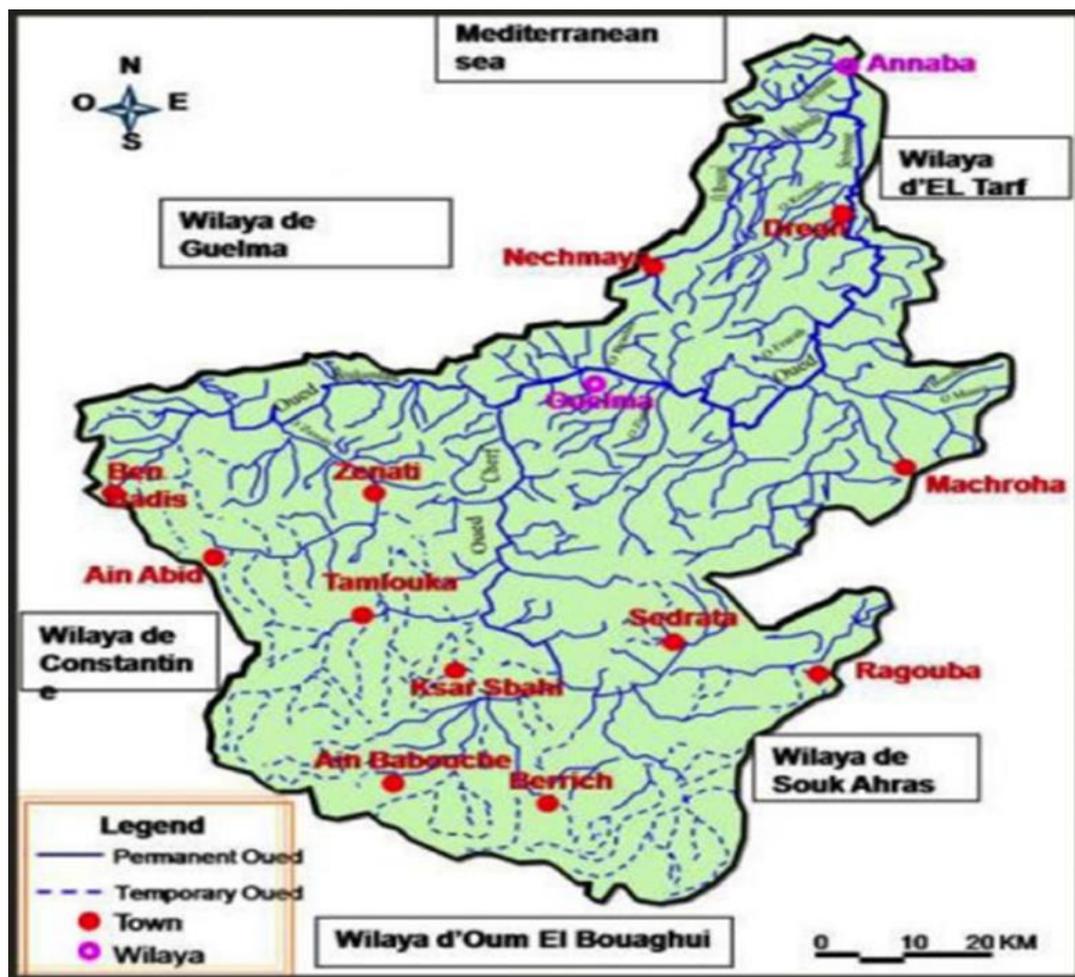


Figure 17 : Situation géographique du bassin versant de la Seybouse (in Aouissi-Cherairia., 2015).

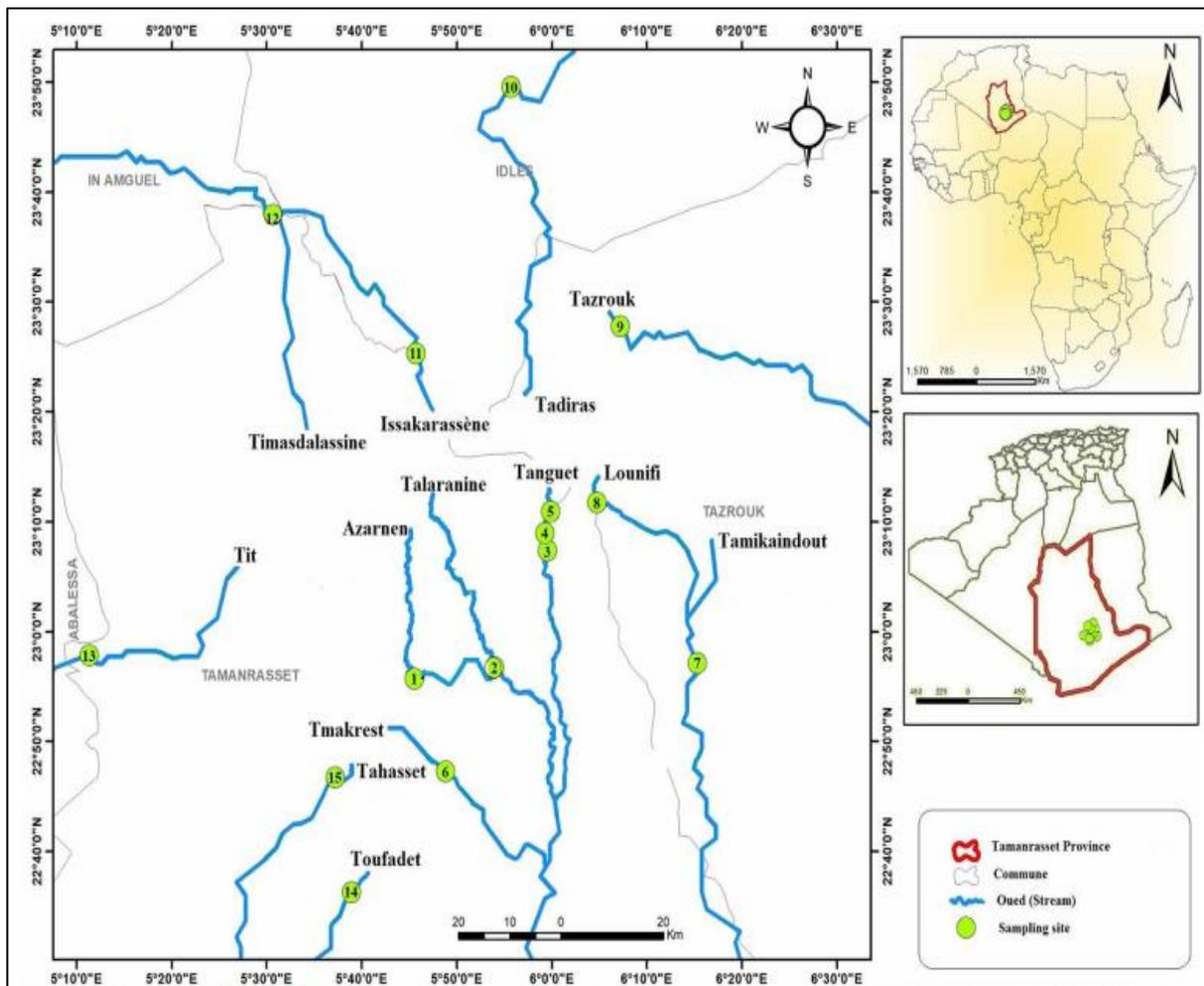


Figure 18 : Carte des sites de collecte de *Simulium ruficornes* cytoforme A1 dans les montagnes du Hoggar (Cherairia et Adler, 2018).

Chapitre 3

intérêt médical et

vétérinaire des Simuliidae

1. Généralités sur les insectes à intérêt médical et vétérinaire :

Les insectes représentent plus de 60 % de l'ensemble des espèces animales décrites et beaucoup d'entre eux restent sans doute encore inconnus. La classe des insectes a réussi à coloniser la quasi totalité des milieux naturels et à s'adapter à de nombreux modes de vie, constituant ainsi l'une des plus grandes réussites du règne animal (Rodhain et Perez, 1985).

Un certain nombre d'insectes sont hématophages et interagissent donc de manière régulière avec des vertébrés. Ces interactions les ont conduits à devenir au fil de l'évolution des vecteurs de pathogènes dont le cycle se partage entre ces vertébrés et les insectes. Les insectes sont parfois de simples véhicules pour les pathogènes, mais ils peuvent aussi être des hôtes intermédiaires voire obligatoires pour les pathogènes qui, dans ce dernier cas, réalisent une partie essentielle de leur cycle vital chez l'insecte (Frolet, 2006).

Parmi les arthropodes nuisibles, on trouve les Simuliidae, ceux sont des insectes piqueurs qui constituent dans plusieurs pays du monde, des vecteurs de maladies autant chez les humains que chez les animaux vertébrés et représentent de ce fait un problème majeur de santé publique et une véritable nuisance pour le bétail et la volaille (Adler, 2004) dont le genre principalement impliqué est *Simulium*.

Les stades préimaginaux (oeufs, larves, nymphes) sont aquatiques alors que les imagos mènent une vie aérienne. Seule la femelle est hématophage. Avec un nombre total de 2348 espèces décrites à travers le monde (Adler, 2020).

Elles peuvent être:

1.1. Espèces gênantes par leurs piqûres :

Selon le degré de zoophilie ou d'anthropophilie des femelles, une pullulation excessive peut être cause d'une nuisance considérable pour les populations humaines et les animaux domestiques.

Petites « mouches » noires, « rondes », très agressives à l'aube et au crépuscule à l'extérieur des habitations, toute la journée par temps couvert ou sous les ombrages. Elles piquent surtout sur la partie inférieure du corps, près du sol. La piqûre n'est pas toujours immédiatement perçue mais elle est rapidement suivie par une vive démangeaison, supérieure à celle due aux moustiques. La nuisance peut rendre tout travail impossible, et même entraîner la mortalité du bétail dans des conditions extrêmes(10).

Les pièces buccales des Simulies possèdent une paire de longs palpes maxillaires. Le troisième segment possède des structures chémosensibles, et détecte par exemple le dioxyde de carbone. Chez les femelles, en relation avec leur régime hématophage, les mandibules et les maxilles sont dentelées. Le labium souple recouvre l'ensemble des pièces buccales .

Les femelles Simulies piquent selon le même procédé que les femelles cératopogonidés (Sutcliffe et McIver, 1984). Les mandibules réalisent cependant un mouvement plutôt semblable à l'action de ciseaux. Le repas sanguin est réalisé en 4 minutes à 5 minutes (Wenk, 1981) et une quantité de sang équivalente au poids de la Simulie est aspirée.

1.2. Espèces nuisibles par la toxicité de leurs piqûres :

La salive des Simulies étant toxique, L'accumulation des piqûres peut provoquer des accidents allergiques grave (Organisation mondiale de la santé. Module de formation des entomologistes nationaux à la prise en charge et à la supervision des activités entomologiques de lutte contre l'onchocercose). Les piqûres de Simulies sont très irritantes et provoquent des placards d'oedème, du moins chez les personnes à sensibilité normale ou élevée. Elles font le grattage qui peut entraîner des lésions cutanées, infectées secondairement. Les Simulies s'attaquent principalement aux jambes, mais aussi aux mains, à la face, au cou et à toutes les zones cutanées dénudées.

La piqûre nécessite la présence d'un certain nombre de signaux tels que la température du sang de l'hôte ou bien la présence d'ATP dans ce sang. La majorité des Simulies hématophages se nourrit sur des vertébrés homéothermes ; les préférences trophiques peuvent être assez marquées mais de nombreuses espèces se nourrissent indifféremment sur des oiseaux ou des mammifères. Les espèces plutôt ornithophiles possèdent des griffes munies de denticules, alors que les espèces piquant les mammifères possèdent des griffes non dentées (Kettle, 1995). *Simulium tuberosum* se nourrit sur de nombreuses espèces : l'homme, des mammifères et des oiseaux, *Simulium reptans* et *Simulium monticola* se nourrissent à plus de 90% sur des bovins, (Kettle, 1995), *Simulium ornatum* pique les chevaux et les bovins (Rodhain et Perez, 1985).

Chez l'homme, de larges réactions locales ont été rapportées ainsi que l'induction d'anticorps IgE spécifiques. Les réactions systémiques restent rares (Bevier, 1999). Gudgel et Grauer (1954) rapportent chez l'homme une prédominance des réponses tardives se traduisant par le développement de papules prurigineuses indurées, plusieurs heures après la piqûre.

Dans les cas plus sévères, une vésiculation satellite, une adénopathie et de la fièvre peuvent s'ajouter. Les lésions persistent parfois plusieurs mois. Stokes (1914) a observé de l'œdème, une vasodilatation, une infiltration de neutrophiles, d'éosinophiles et de mastocytes sur des biopsies de peaux piquées par *Simulium venustum*.

Les lésions rapportées chez les carnivores domestiques sont des papules très prurigineuses, évoluant en croûtes puis en ulcères accompagnés de sévères excoriations aboutissant à la formation de zones de nécrose. Certains animaux présentent une lésion annulaire caractéristique; il s'agit d'une lésion maculaire caractérisée par un petit point de piqûre entourée d'une large zone d'œdème aux contours fortement érythémateux. L'examen histologique des lésions met en évidence une dermatite éosinophilique avec infiltration périvasculaire, un oedème marqué du derme et un purpura. (Scott *et al.*, 2001). Les simulies attaquent en général par essaim : un animal attaqué par un tel essaim peut en mourir.

Les Simulies sont responsables de dermatites papillaires sur la face dorsale des oreilles des chiens. Elles piquent les zones peu velues de l'abdomen, les membres et la tête. Les lésions sont très prurigineuses, des excoriations et des croûtes peuvent apparaître. Certaines lésions particulièrement visibles sur l'abdomen se présentent comme des lésions punctiformes entourées d'une zone œdémateuse et d'un anneau érythémateux. (Matousek, 2004).

Les morsures des femelles de plusieurs espèces en font des vecteurs de maladies autant chez les humains que chez les animaux. Parmi ces maladies, l'onchocercose, une maladie causée par un parasite entraînant la cécité, en est un exemple chez l'humain. Des réactions allergiques et la fièvre de la mouche noire sont aussi des problèmes entraînés par leurs morsures. Chez les animaux, les mouches noires transmettent la leuco-cytozoonose (Figure 19,20,21,22), une maladie mortelle pour les dindes, les canards et les poulets. Les mouches noires adultes entraînent aussi des pertes économiques en milieu agricole et touristique.



Figure 19 : Photographie de lésions consécutives à des piqûres de Simulies sur le bras de la propriétaire du caniche (in Berthet-Beaufils, 2010).



Figure 20 : Photographie d'oreilles d'un chat piqué par des Simulies (in Berthet-Beaufils, 2010).



Figure 21 : Photographie d'abdomen de chien piqué par des Simulies (in Berthet-Beaufils, 2010).



Figure 22 : Photographie de terrier piqué par des Simulies (in Berthet-Beaufils, 2010).

1.3. Espèces vectrices de parasites :

Les Simulies sont malheureusement connues pour être des vecteurs de pathogènes de grande importance médicale et vétérinaire. En médecine humaine, *Simulium damnosum* est le vecteur de l'onchocercose, plus connu sous le nom de cécité des rivières. Cette maladie est une des maladies les plus coûteuses et les plus préoccupantes dans le monde. On estime qu'environ 120 millions de personnes sont en zone à risque et que 37 millions de personnes sont infectées par le parasite. En médecine vétérinaire, les Simulies sont capables de transmettre trois maladies majeures. Tout d'abord, elles peuvent être vectrices d'onchocercose bovine.

Cette maladie cause des dermatites avec la formation de nodule en région ventrale de l'animal ou sur les pattes de ce dernier. Ensuite, les Simulies sont capables de véhiculer la leucocytozoonose aviaire. Ce sont des protozoaires transmis aux oiseaux qui provoquent des émaciations et des convulsions, pour des atteintes chroniques ou aiguës, et des baisses d'immunités pour des atteintes plutôt chroniques. Enfin, récemment le rôle des Simulies dans la transmission de la stomatite vésiculeuse a été mis en évidence.

Les Simulies sont d'excellents vecteurs au sein d'un cheptel et transmettent la maladie aux chevaux et aux bovins. De plus, il a été démontré que les Simulies pouvaient transmettre la maladie juste en se posant sur une lésion d'une vache infectée, sans s'en nourrir et qu'elle allait mordre ensuite, un autre animal. La stomatite vésiculeuse est une maladie de grande importance vétérinaire l'établissant comme un danger sanitaire de première catégorie. Elle ne cause pas de mortalité mais cependant les pertes économiques associées à la maladie sont très importantes (Blanc-Debrune, 2019).

- **Vecteurs de filaires :**

Plusieurs espèces de Simulies sont vectrices de filaires, ces dernières effectuant obligatoirement chez les femelles une partie de leur cycle de développement. *Onchocerca volvulus*, agent de l'onchocercose humaine, est transmise en Afrique par *S. damnosum* et *S. neavei* et en Amérique par *S. ochraceum*, *S. metallicum* et *S. callidum*. *Onchocerca gutturosa*, agent de l'onchocercose bovine, est transmise en Europe par *S. ornatum* et *S. erythrocephalum* et en Amérique centrale par *S. exiguum*. *Onchocerca flexuosa*, agent de l'onchocercose du cerf (*Cervus elaphus*) est transmise par des Simulies en Europe occidentale. *Ornithofilaria fallisensis*, filaire du canard blanc, est transmise au Canada par *S. venustum* (Philippon, 1978).

- **Vecteurs de protozoaires :**

S. venustum est vecteur de *Leucocytozooa simondi*, Hématozoaire parasite des canards au Canada ; *S. jenningsi* et *S. occidentale* transmettent *L. smithi* aux dindons aux Etats-Unis. Certaines espèces sont vectrices de trypanosomes d'oiseaux dans la région néarctique (Philippon, 1978).

- **Vecteurs de virus :**

S. melatum est impliqué dans la transmission du virus de la myxomatose des lapins en Australie. Aussi, le virus EEV (Eastern Encephalitis Virus) a été isolé à partir de *S. johannseni* et de *S. meridionale* aux Etats-Unis (Philippon, 1978).

Le tableau 2 récapitule les espèces Simulidiennes vectrices, les parasites transmis, le type de maladie provoquée et son aire de répartition. Il apparaît qu'une quinzaine d'espèces Simulidiennes véhiculent des filaires (origine humaine et/ou animale), des protozoaires ou des virus.

Tableau 2 : Espèces Simulidiennes vectrices de parasites (OMS,2002).

Espèces Simulidiennes	Parasite	Maladie	Aire
<i>S. damnosum</i> <i>S. neavei</i> <i>S. albivirgatum</i>	<i>Onchocerca volvulus</i> (filaire) <i>Onchocerca ochengi</i>	Onchocercose Humain Onchocercose animale	Afrique
<i>S. ochraceum</i> <i>S. metallicum</i> <i>S. callidium</i>	<i>Onchocerca volvulus</i>	Onchocercose humain	Amérique
<i>S. ornatum</i>	<i>Onchocerca gutturosa</i>	Onchocercose bovine	Europe
<i>S. exigum</i>	<i>Onchocerca gutturosa</i>	Onchocercose bovine	Amérique
<i>S. venustum</i>	<i>Ornithofilaria fallisensis</i>	Filariose des canards	Canada
<i>S. venustum</i>	<i>Leucocytozoon simondi</i> (protozoaire)	Parasitose des canards	Canada
<i>S. jenningsi</i> <i>S. occidentale</i>	<i>Leucocytozoon smithi</i>	Parasitose des canards	Amérique (Usa)

<i>S. nelatum</i>	Virus myxomateux	Myxomatose des lapins	Australie
<i>S. johannseni</i> <i>S. meridionale</i>	Virus EEV (Eastern Encephalitis Virus)	Encephalite	Amérique



Figure 23 : photographies de nodules cutanés (in Lepori, 2013).



Figure 24 : photographie : Onchodermite (10).

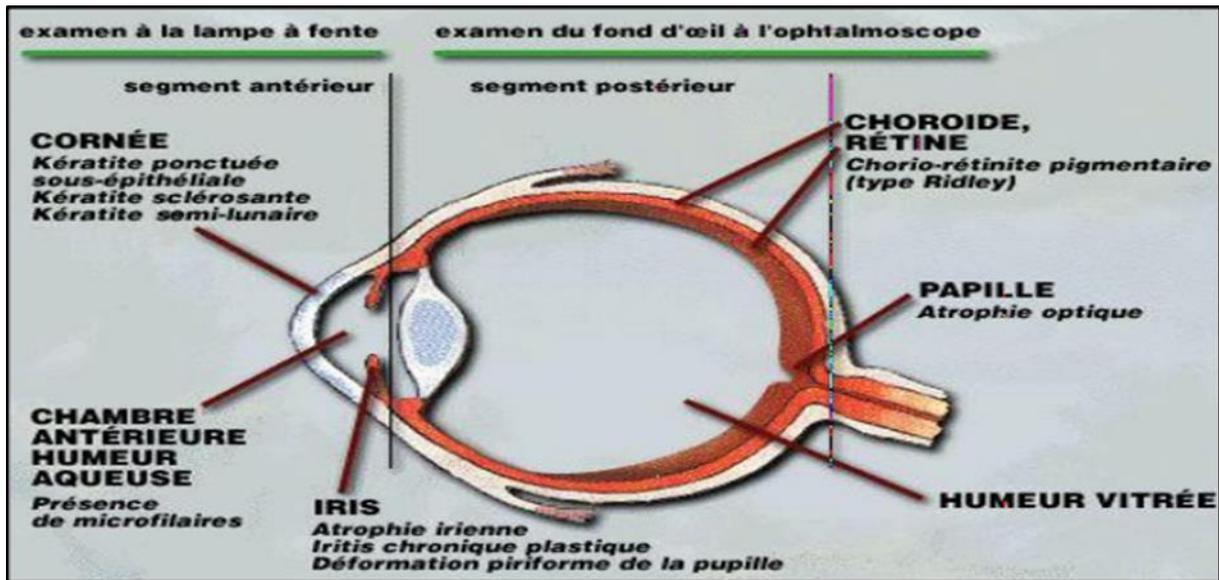


Figure 25 : Syndrome oculaire induit par la filaire *Onchocerca volvulus* (in Mehira et Menara, 2014).

L'onchocercose est caractérisée par la présence de vers adultes dans des nodules fibreux sous-cutanés de l'homme : il est donc l'hôte définitif puisqu'il héberge la forme sexuée du parasite et lui permet de se reproduire (Figure 26 : partie du cycle en bleu). Le vecteur est un arthropode, et plus précisément une pseudo mouche, la Simulie (Figure 26 : partie du cycle en rouge).

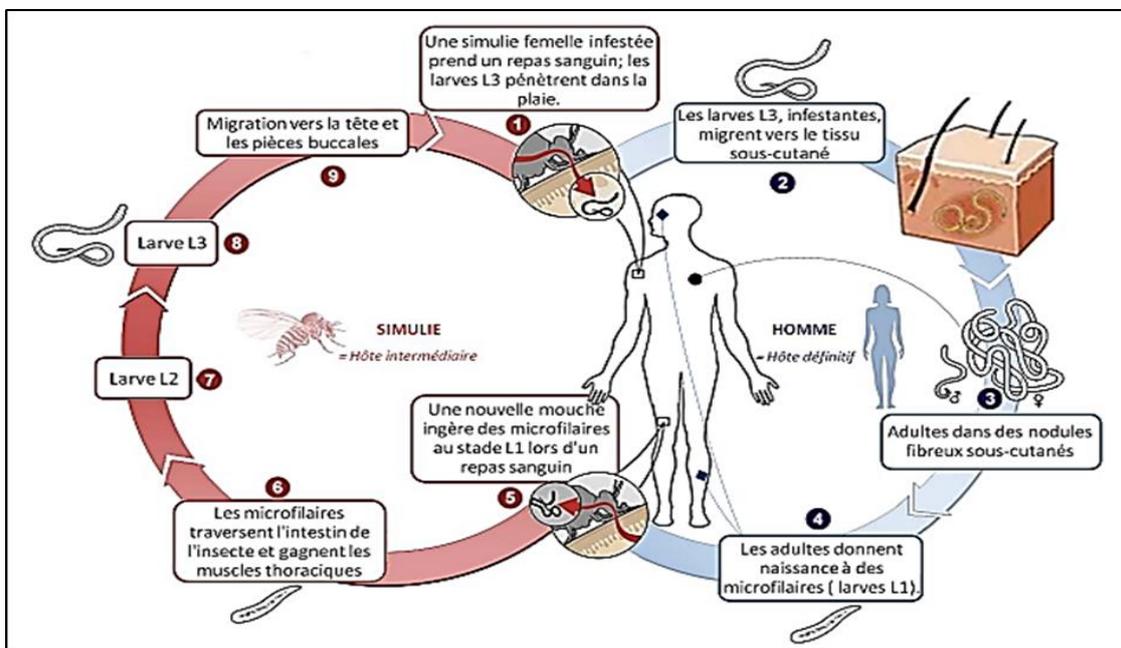


Figure 26 : Cycle biologique de la filaire *Onchocerca volvulus* (in Lepori, 2013).

- Dans l'hôte définitif :

Le ver adulte vit dans des nodules fibreux dont certains sont sous-cutanés et palpables et d'autres installés à l'intérieure de l'organisme humain en profondeur dans les tissus conjonctifs et musculaires, ces microfilaires sont caractérisés par une longévité variant entre 9 à 14 ans (Duke, 1993).

La femelle pond un grand nombre de microfilaires qui se concentrent près des nodules au début de l'infestation puis les microfilaires envahissent peu à peu tout le derme, cependant, elles se rencontrent dans le corps humain dans des zones préférentielles de densité maximale telle que les jambes et la ceinture pelvienne. Les larves d'*O. volvulus* sont capables de passer en petite quantité dans le sang voire même dans les vaisseaux profonds de la peau et peuvent être également retrouvée dans les urines et les crachats de certains malades. La période de latence qui sépare la piqûre infectante de la détection des microfilaires (stade pathogène du parasite) dans le derme est en moyenne de 12 à 15 mois (Duke, 1993).

- Dans l'hôte intermédiaire :

L'agent causal de l'onchocercose est exclusivement transmis par les Simuliidae femelles qui ont besoin de sang pour faire murir leurs œufs suite à la fécondation. Après avoir piquer une personne fortement parasitée, la Simulie peut ingérer plusieurs centaines de microfilaires présentes dans le derme (Duke, 1993). Lorsque le sang arrive dans l'estomac, la plus part des microfilaires sont digérées et disparaissent (Philippon et Bain, 1972) mais quelques unes peuvent traverser la paroi intestinale et gagner la cavité générale en suite les muscles thoraciques où elles vont se développer puis se raccourcissent et s'épaississent engendrant ainsi une forme dite en "saucisse", cette dernière est atteinte au bout de 3 à 4 jours et continue à s'épaissir et à s'allonger pour atteindre la dimension de 250 μm sur 40 μm . L'issue de la première mue est une larve du deuxième stade dont les dimensions sont de 450 μm de longueur et 40 μm d'épaisseur. Cette phase, correspond au premier stade larvaire L1 du parasite qui vont ensuite subir deux mues successives pour devenir des larves allongées et très mobiles L3 qui vont quitter les muscles thoraciques pour gagner la partie céphalique et les pièces buccales de l'insecte notamment le labium (gaine de la trompe) sans que la cause de ce tropisme soit connue.

Une fois dans la tête les larves du troisième stade sont appelées larves infectantes et la Simulie devient potentiellement infectieuse pour l'Homme. Il a été démontré que la durée du

développement des stades larvaires chez le vecteur dépend de la température extérieure, en effet, elle est de sept jours pour une température comprise entre 25 et 30°C (Wanson et al., 1945) mais peut se raccourcir à 12 jours si la température est inférieure à 18°C. Cette durée étant supérieure à l'intervalle entre deux repas sanguins (quatre à six jours), et par conséquent la Simulie ne peut transmettre des larves infectantes à un nouvel hôte qu'au cours de son troisième repas de sang. Au cours d'un repas de sang infectant la Simulie replie son labium qui éclate sous la pression des larves L3 ainsi déposées sur la peau du sujet et pénètrent activement dans le derme de l'hôte à travers la plaie causée par la pique.

L'observation des premiers stades du parasite in vivo est particulièrement délicate, en conséquence, le passage de la larve infectante au stade adulte reste mal connu. Il a cependant été observé que in vitro la mue des L3 vers le stade L4 se produisait après cinq à 10 jours (Iok et al., 1984) et que des L3 implantées expérimentalement dans l'organisme du petit rongeur *Mastomys natalensis* évoluaient en L4 en 14 jours au cours d'une dernière mue qui survient trois à six mois plus tard permettant la transformation de la larve en un ver adulte immature. La majorité des jeunes adultes s'emprisonnent dans un tissu fibreux de néoformation pour constituer l'onchocercome (Strote, 1985).

- **les facteurs influençant la transmission à l'homme :**

Une fois adultes, les Simulies gagnent les forêts et les savanes (champs, plantations) bordant les cours d'eau douce (rivières, ruisseaux). Elles sont exophiles, c'est-à-dire qu'on ne les rencontre que dans la nature et non dans les habitations. Les populations habitant à proximité des gîtes larvaires sont les plus à risque. En fonction du potentiel annuel de transmission, on définit les villages de 1^o, 2^o et 3^o ligne. Certaines professions sont particulièrement exposées, comme les agriculteurs, les chasseurs... Mais dans les villages endémiques, personne n'est à l'abri des Simulies: les femmes lavent leur linge dans les rivières, et les enfants, qui les accompagnent, y jouent (Lepori, 2013) (Figure 27).



Figure 27 : Femmes et enfants lavant du linge dans une rivière (in Lepori, 2013).

Pour décrire les particularités du cycle du genre *Leucocytozoon* on s'appuiera sur le cycle de développement de *Leucocytozoon simondi*. Dans le foie, les sporozoïtes quittent le système circulatoire et pénètrent dans les cellules du parenchyme hépatique ou dans les cellules endothéliales. Les sporozoïtes s'arrondissent, grossissent et multiplient leur noyau initiant la première schizogonie en schizontes qui, après maturation et rupture, vont libérer de nombreux mérozoïtes. Enfin ces mérozoïtes vont soit infecter des érythrocytes pour former des gamétocytes, soit infecter d'autres cellules afin de réaliser une deuxième schizogonie formant des mégaschizontes. Ces schizontes libèrent de nouveaux mérozoïtes qui vont soit redémarrer une première schizogonie soit se différencier en gamétocyte (Olsen, 1986; Valkiunas, 2004)(figure 28). Pour ce qui est du développement dans le vecteur on retrouve le même schéma que celui des *Haemoproteus*.

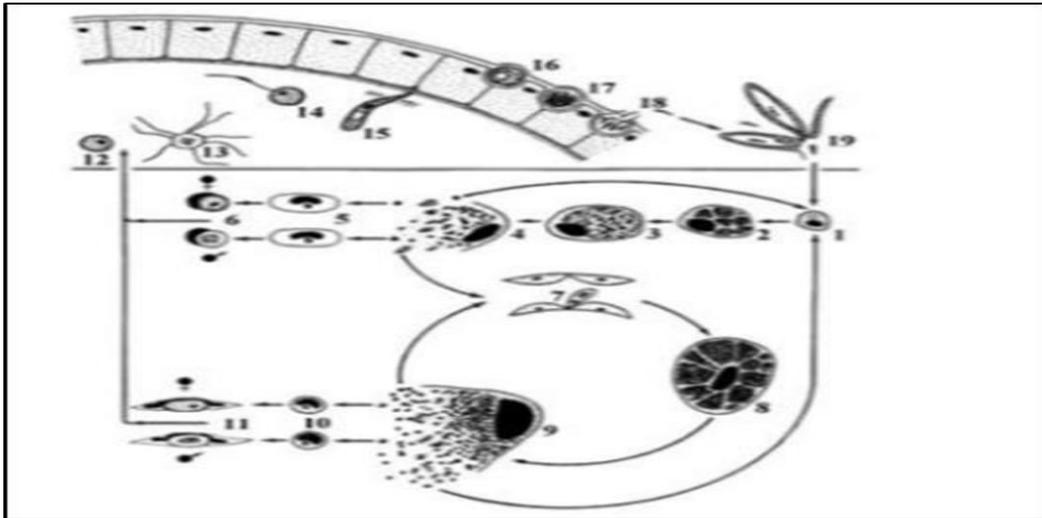


Figure 28 : Cycle de développement des *Leucocytozoon* aviaires (Valkiunas 2004).

1 : sporozoïte ou mérozoïte dans un hépatocyte ; 2 : jeune schizonte hépatique ; 3 : schizonte hépatique mûr ; 4 : rupture du schizonte hépatique ; 5 : mérozoïtes intraérythrocytaires gamétocytogènes ; 6 : gamétocytes dans une hématie arrondie ; 7 : syncytium (=fragment du schizonte hépatique avec au moins 2 noyaux) ou mérozoïte dans une cellule réticuloendothéliale ; 8 : mégaloschizonte ; 9 : rupture du mégaloschizonte ; 10 : mérozoïtes intraleucocytaires gamétocytogènes ; 11 : gamétocytes dans un leucocyte fusiforme ; 12 : macrogamète ; 13 : exflagellation des microgamètes ; 14 : fécondation ; 15 : ookinète pénétrant dans la membrane péritrophique ; 16 : jeune oocyste ; 17 : sporogonie ; 18 : rupture de l'oocyste, libération des sporozoïtes et migration vers les glandes salivaires ; 19 : accumulation de sporozoïtes dans les glandes salivaires du vecteur .

Chapitre 4

ennemis naturels et

parasitisme larvaire chez les

Simuliidae

Les Simulies sont sujettes à une forte activité sélective exercée par les phénomènes de prédation et de parasitisme (Adler *et al.*, 2004).

Ces parasites et prédateurs sont nombreux, et jouent vraisemblablement un rôle régulateur dans la dynamique des populations des Simulies notamment sur l'abondance des stades préimaginaux; ce rôle est toutefois apparemment limité par l'établissement d'un équilibre entre hôtes et parasites- prédateurs (Philippon, 1978).

1. Les prédateurs :

Les prédateurs de Simuliidae incluent des exemples d'au moins 12 familles de Diptères et d'autres arthropodes prédateurs (Crustacés et insectes: Coléoptères, Odonates, Plécoptères, Trichoptères), les invertébrés notamment (classe :Turbellaria, famille : Tricladida).

Ainsi que les poissons brouteurs. Les Diptères ayant un impact sur les populations de simuliidés comprennent principalement les Chironomidae, les Empididae et les Muscidae, bien que plusieurs autres familles (Asilidae, Dolichopodidae, Phoridae, Drosophilidae, Scathophagidae) jouent un rôle important en tant que prédateurs (Doreen Werner *et al.*, 2003).

La prédation peut avoir une forte influence sur la structure communautaire, affectant la reproduction, l'alimentation, l'adaptation aux facteurs abiotiques et la défense, qui sont les quatre conditions de base des animaux pour la survie et la perpétuation . De nombreuses études ont été menées sur des prédateurs d'insectes aquatiques d'importance économique, médicale ou vétérinaire, tels que les Chironomidae, les Culicidae et les Simuliidae (Davies ,1981 ; Crosskey , 1990).

2. Parasitisme larvaire :

Les larves de Simuliides sont des organismes extrêmement vulnérables et leurs ennemis naturels sont nombreux (Adler *et al.*, 2004). La symbiose larvaire inclue principalement les nématodes mermithidae (Mondet, 1981; Sharp, 2007; Sharp et Hunter, 2008), les fungi trichomycètes (Adler *et al.*, 2004; McCreadie *et al.*, 2005) et les protozoaires microsporidies (Adler et al., 2004) mais aussi les insectes (Werner et Pont, 2003). La plus part de ces symbioses surviennent également chez les nymphes et les adultes (Adler *et al.* , 2004).

2.1. Nématodes :

Les nématodes les mieux connus sont les mermithidae. Les mermitides (Nematoda, Mermithidae) sont des parasites mortels des arthropodes, principalement des insectes. Des espèces d'au moins 15 ordres différents d'insectes font partie des hôtes de la famille. Les mermitides présentes chez les mouches noires (Diptera, Simuliidae) sont un groupe insuffisamment étudié avec une taxonomie problématique (Molloy 1981, St-Onge et al., 2008).

La famille des nématodes Mermithidae comprend les parasites les plus couramment rencontrés de la mouche noire (Poinar, 1981), mais leur taxonomie est mal résolue (Crosskey 1990, Adler *et al.* 2004). Les stades de vie libre des mermithidae Simulidae (œufs, juvéniles post-parasites et adultes) vivent dans le lit du cours d'eau. Après l'éclosion, les juvéniles pénètrent dans l'hôte larvaire en perçant la cuticule avec un stylet protrusible et se dirigent vers l'hémocèle hôte (Molloy, 1981). Les infections multiples chez un seul hôte sont courantes (Ezenwa et Carter 1975, Mondet *et al.*, 1976).

Le développement chez l'hôte varie avec la température, d'une semaine dans les régions chaudes à plusieurs mois en hiver dans les régions du nord. À la fin du stade parasitaire, les vers quittent la larve, causant la mort de l'hôte, ou ils sont retenus dans la larve et émergent de la chrysalide ou de l'adulte (Poinar, 1981). Les juvéniles post-parasites se déplacent vers le lit du cours d'eau où ils muent en adultes, s'accouplent et pondent des œufs; la phase de vie libre dure jusqu'à deux ans (Poinar, 1981). Une prévalence de 1 à 10% est typique pour la plupart des localités (Crosskey, 1990).

Les infections par les nématodes qui persistent chez l'adulte entraînent généralement la stérilité de l'hôte, bien que les femelles d'au moins certaines espèces hôtes puissent se nourrir de sang, s'accoupler et rechercher des sites de ponte (Anderson et Shemanchuk, 1987).

Les femelles infectées et les mâles féminisés par l'infection présentent un comportement de ponte après une nuit en amont (Crosskey, 1990). Pendant la ponte, les vers juvéniles sortent de l'hôte par la paroi abdominale et entrent dans le ruisseau. Les mouches noires en amont des hôtes adultes contrent la dérive en aval des larves infectées. Des comptes rendus des parasites mermithidés des mouche noires sont disponibles (Phelps et DeFoliart 1964 ; Finney, 1981; Molloy, 1981; Poinar, 1981 ; Gordon 1984 ; Crosskey, 1990). Certains genres (*Isomermis*, *Gastromermis*, *Mesomermis* et *Neomesomermis*) se développent dans les larves de Simulies (Philippon, 1978).

Les larves de Simulies peuvent être également infectées par des filaires nématodes (figure 29,30), dont *Onchocerca volvulus* constitue la plus importante et la plus répandue en l'Afrique de l'Ouest. Celle-ci affecte les femelles de *Simulium damnosum*, et il n'est cependant pas exceptionnel de rencontrer chez les femelles des larves filariennes évolutives ou mûres dont la morphologie est manifestement différente de celle d' *O. volvulus* et qui sont de toute évidence d'origine animale, le plus souvent aviaire (Philippon, 1978).

Le parasitisme réduit incontestablement la durée de vie des femelles parasitées, en particulier celle des femelles hyperparasitées. Il en résulte, au cours du cycle parasitaire, des abaissements périodiques de l'espérance de vie moyenne des individus affectés et il semble rare dans ces conditions que les femelles parasitées survivent plus que pendant une durée équivalente à celle d'un cycle gonotrophique (Philippon, 1978).

Certaines populations de Simulies conservent des taux élevés d'infection par les mermithidae (Bailey *et al.*, 1977; Gordon, 1984; Colbo, 1990), qui modifient finalement la reproduction de l'hôte et régulent les populations naturelles de mouches noires (Gordon *et al.*, 1973). En effet, ce parasitisme bloque le développement des ovaires, qui restent atrophiés et non fonctionnels. La femelle parasitée est donc dans l'impossibilité de murir des œufs et reste à l'état de nullipare.

Du fait de leur effet léthal à la fois sur les larves et sur les adultes et leur effet stérilisant sur les femelles, les mermithidae constituent le groupe parasitaire qui présente actuellement parmi les meilleurs moyens de lutte biologique contre les espèces Simuliidiennes vectrices.

Par contre, ce parasitisme n'a pas d'influence sur l'alimentation des femelles, qui prennent normalement leur repas sanguins et conservent leur capacité de vol (Aouissi chraïria, M., 2015).



Figure 29 : Larves de *Simulium ornatum* avec des juvéniles parasites d'*isomermis lairdi* (Gradinarov,2014).



Figure 30 : Larves de *Simulium* (W.) *pseudequinum* parasitées par un mermithide (Aouissi-Cherairia, M., 2015).

2.2. Protozoaires :

Les protozoaires infestant les larves de Simulies sont représentés par plusieurs formes: ciliées, flagellés et notamment microsporidies qui sont sans doute susceptibles de réduire la longévité des femelles parasitées, mais l'importance de leur rôle limitant n'est pas encore connue.

Les microsporidiens sont des symbiotes intracellulaires pathogènes, obligatoires, qui étaient à l'origine considérés comme des eucaryotes parce qu'ils n'ont pas de mitochondries (Agnew *et al.*, 2003). Le caractère est maintenant considéré comme une perte secondaire résultant de la vie en tant que parasites intracellulaires obligatoires, et des preuves récentes indiquent que les microsporidies sont des champignons (Lee *et al.*, 2008) (figure31).

Une fois ingérées, les microsporidies infectent généralement les cellules épithéliales intestinales (Agnew *et al.*, 2003) puis le corps adipeux, principal tissu larvaire supportant le développement des microsporidies chez les mouches noires (Adler *et al.*, 2004). La production de spores dans les cellules adipeuses entraîne des infections patentées visibles sous forme de kystes lobés blancs ou rougeâtres (Adler *et al.*, 2004). Comme d'autres agents pathogènes de la mouche noire, les microsporidies augmentent la durée du stade larvaire (Maurand, 1975).

La prévalence des microsporidies chez les larves de mouche noires est généralement de 3% . Les spores sont libérées lorsque la larve se décompose, mais on ne sait pas si des hôtes intermédiaires sont nécessaires pour la transmission horizontale des microsporidies des mouches noires. La transmission verticale des femelles adultes aux larves, via des œufs infectés, se produit chez au moins une espèce (Tarrant, 1984)(figure32).

Treize espèces décrites attaquent les larves en Amérique du Nord (Adler *et al.*, 2004). Les microsporidies du genre *Thelohania* et *Plistophora* se répartissent sur le thorax et l'abdomen de la larve et sont parfois fréquents dans certains foyers au niveau des ovaires des femelles (Philippon, 1978).

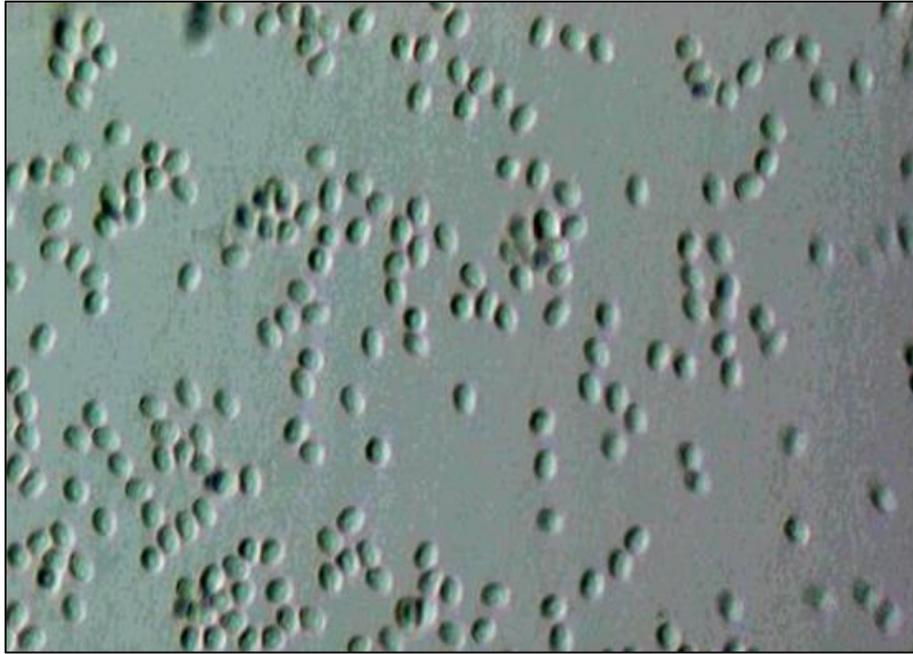


Figure 31 : Microsporidies de *Simulium nakhonense*, disséminées dans 50% d'acide acétique.(Jitklang et al., 2012).

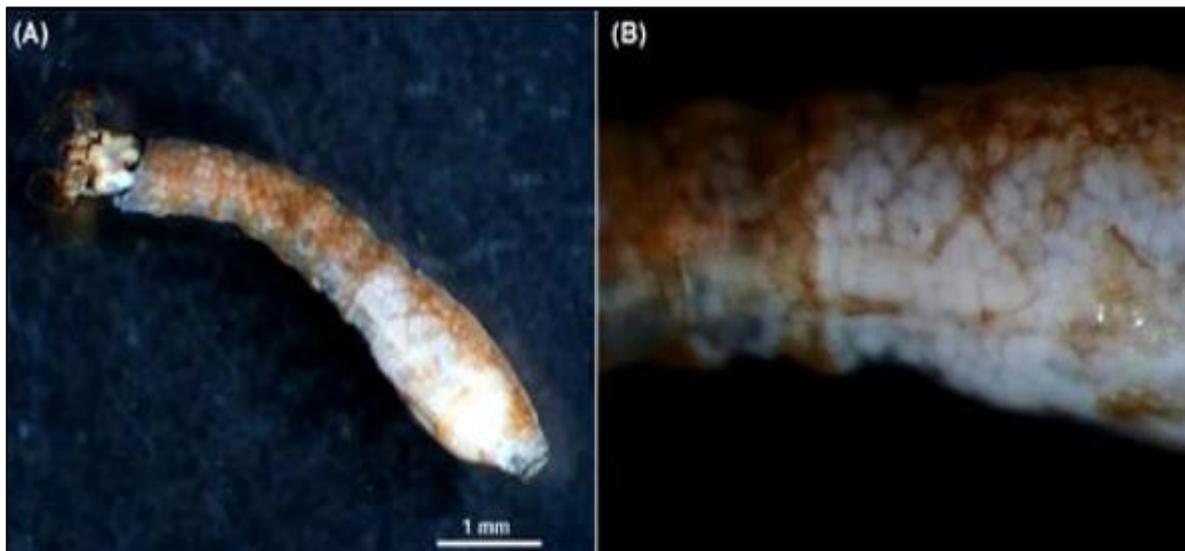


Figure 32 : Larve de *Simulium chamlongi* manifestement infectée par *Coelomycidium Simulii*, montrant des thalles sphériques. A, vue latérale; B, vue ventrale de l'abdomen antérieur (Jitklang et al., 2012).

Les microsporidies sont généralement plus fréquentes dans la chaleur saison. Les différences saisonnières d'infection peuvent refléter différentes conditions de cours d'eau, telles que la température de l'eau, la vitesse, et la disponibilité de la nourriture. Facteurs environnementaux dans d'autres domaines de il a été démontré que le monde joue un rôle dans la distribution de parasites infectant les larves de mouches noires (McCreadie et Adler, 1999; St-Onge et Charpentier, 2008).

2.3. Fungi :

Les champignons parasites de Simuliidae se répartissent entre les Chytridiomycètes, trichomycètes et hyphomycètes (Adler *et al.*, 2004). Les stades de développement du champignon dans l'ovaire et l'eau douce sont discutés. Sur la base des preuves à ce jour, l'hôte Simuliide est infecté aux premiers stades larvaires.

Le parasitisme entraîne une destruction des tissus ovariens avec pas ou peu d'œufs produits. Le champignon remplace le tissu ovarien et produit un nombre massif de spores qui sont libérées par la mouche femelle au moment de la ponte. Après la ponte, les mouches infectées ne cherchent pas de repas de sang (Yeboah *et al.*, 1984).

La longévité de l'hôte ne semble pas être affectée par la présence du champignon. Les spores libérées par la mouche lors de la ponte n'ont pas résisté à la dessiccation et ne se sont pas développées sur les milieux artificiels testés; le développement ne se produit que dans l'eau. Le développement des sporanges prend 5 à 7 jours à 4 ° C et 2 à 3 jours à des températures supérieures à 10 ° C. Le processus de développement des spores de Simulie (Yeboah *et al.*, 1984).

- **Trichomycètes :**

Les membres de l'ordre des Harpellales sont des champignons trichomycètes zygosporiques qui vivent dans les entrailles des arthropodes aquatiques. Les insectes aquatiques sont les hôtes les plus courants des trichomycètes et les Diptères sont l'ordre le plus couramment colonisé. (figure 33).

Les trichomycètes sont généralement considérés comme commensaux, mais peuvent aussi être des agents pathogènes ou des mutualistes, selon les circonstances environnementales (McCreadie *et al.*, 2005, Lichtwardt, 2008). Il existe 9 genres et 15 espèces de trichomycètes connus des espèces noires en Amérique du Nord (Nelder *et al.*, 2006, White *et al.*, 2006). La

prévalence de nombreuses espèces de trichomycètes varie dans l'espace et le temps de 0 à 100% (Taylor *et al.*, 1996; Beard et Adler 2002; Nelder et coll. 2010).

Les larves noires sont colonisées en ingérant des asexuées trichospores (Lichtwardt, 2008). Après l'extrusion des sporangiospores à partir de la trichospore, le thalle se fixe à la matrice péritrophique du mésogastre (Harpellaceae) ou à la cuticule de l'intestin postérieur (Legeriomycetaceae) et peut produire de nouveaux trichospores en 24 h (Vojvodic et McCreadie, 2007). Les trichospores sortent de l'hôte dans des boulettes fécales. Lorsqu'un hôte mue, les thalles sont excrétés avec la muqueuse intestinale; ainsi, le mycota est régulièrement perdu et renouvelé au cours du développement de l'hôte (Lichtwardt, 1986, 2008). Les trichospores restent viables sous conditions pendant plusieurs mois (Williams, 1983) et des zygosporées sexuelles sont produites chez certaines espèces.

Les trichomycètes peuvent être pathogènes pour les femelles noires, remplaçant les œufs de l'hôte par des kystes fongiques. Ainsi, le symbiote acquiert un service de dispersion et l'hôte perd sa couvée d'œufs (Moss et Descals 1986 ; Rizzo et Pang 2005 ; Lichtwardt, 2008). La survenue de ces kystes fongiques ovariens n'est pas universelle (Yeboah *et al.*, 1984, White *et al.*, 2006), et on ne comprend pas ce qui pousse le symbiote à devenir parasite chez l'adulte.

Le premier trichomycète découvert chez les Simuliidae est *Harpella melusinae* (Léger et Duboscq, 1929), celui-ci est le champignon le plus largement distribué et le plus commun chez les mouches noires à travers le monde (Adler *et al.*, 2004).

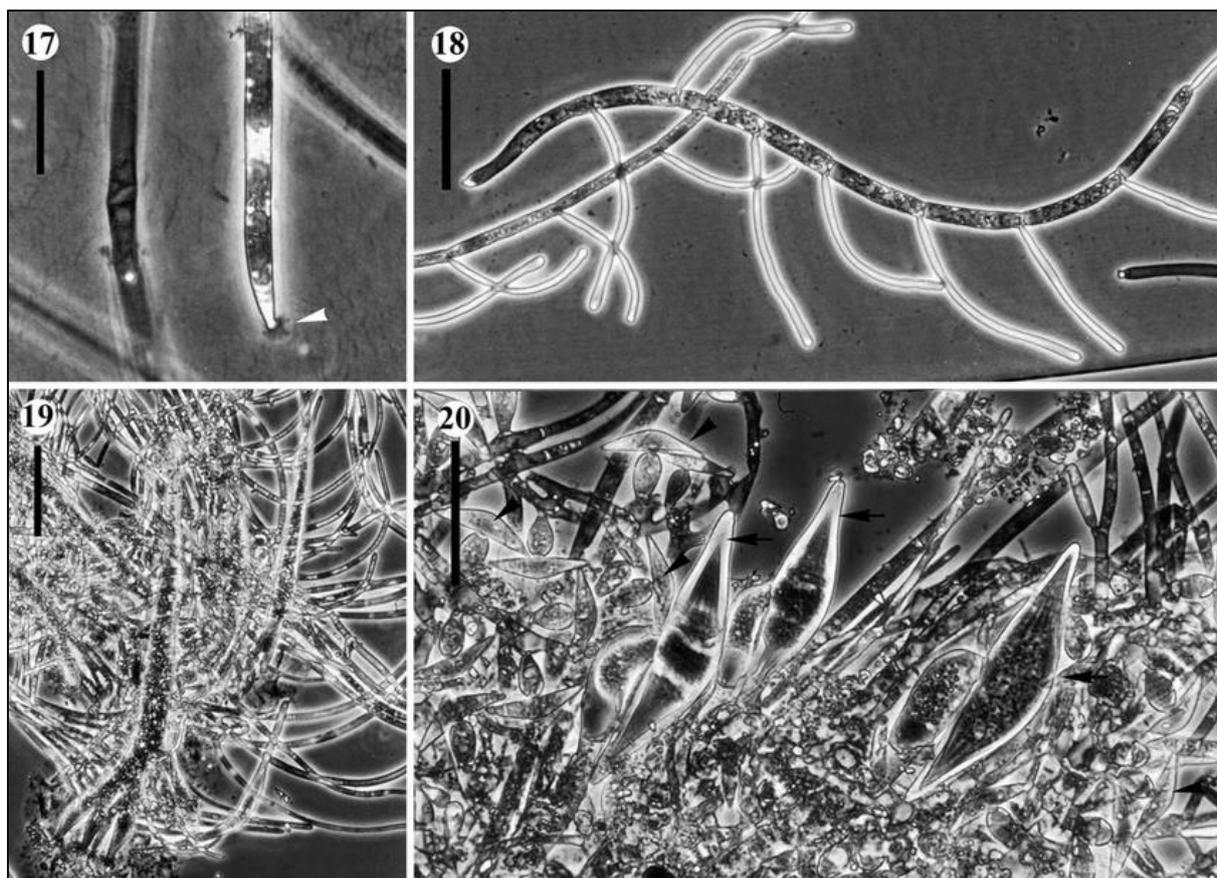


Figure 33 : Champignons intestinaux des hôtes Simuliidae. (Valle,2006).

17. *Harpella melusinae* avec son aspect classique en forme de doigt de l'adhésif holdfast (flèche). 18. *Harpella tica*, aperçu du thalle avec des trichospores attachés. 19. *Pennella montana*, thalles comprenant des coupes basales, dont une avec une cellule basale lobulée. 20. Agrégation de zygospores de *P. montana* (type III, flèches) et de *Simuliomyces microsporus* (type I, pointes de flèches).

- **Chytridiomycètes :**

La classe des Chytridiomycètes constitue avec leur espèce *Coelomycidium Simulii* d'excellents parasites de larves de Simulies (Philippon, 1978; Adler *et al.*, 2004).

Coelomycidium simulii. Ce champignon se trouve presque dans le monde entier dans une gamme remarquablement large de taxons hôtes Simuliidés, ce qui suggère qu'il s'agit d'un complexe d'espèces.

Bien que ce soit l'un des parasites les plus répandus des mouche noires, sa prévalence est généralement de 4% d'une population hôte larvaire, bien que des taux 10 fois plus élevés aient

été enregistrés (Crosskey, 1990, McCreadie et Adler, 1999). Les larves manifestement infectées sont remplies de sporanges sphériques tout au long de leur hémocèle. Les larves infectées finissent par se rompre et des zoospores sont libérées (Tarrant, 1984). La transmission d'un hôte à l'autre se produit verticalement (Tarrant, 1984) et peut-être horizontalement, peut-être par un hôte intermédiaire (Lacey et Undeen, 1988).

Chapitre 5
lutte anti vectorielle contre
les Simuliidae

Dans les pays tropicaux, les insectes jouent un rôle important dans la propagation des grandes endémies parasitaires ou virales. Pour lutter contre ces maladies, les moyens thérapeutiques sont parfois inexistantes, voire insuffisants ou difficiles à appliquer pour un traitement de masse. C'est pourquoi la lutte peut s'orienter vers le vecteur. Afin de briser un maillon de la chaîne épidémiologique et réduire la transmission de l'agent pathogène (Hougard, 1986).

La lutte contre les Simulies ces 100 dernières années a progressé sous de nombreux aspects, en s'appuyant généralement sur les méthodes développées contre les moustiques.

Les plus grands progrès ont été accomplis dans le contrôle des larves, en profitant de la possibilité d'atteindre des populations entières dans un espace relativement confiné. Par conséquent, la plupart des efforts de lutte se concentrent à l'heure actuelle sur les larvicides plutôt que sur les adulticides. Lors des 75 premières années de lutte contre les Simulies, on recourait à des produits chimiques non spécifiques de toute sorte : du pétrole, du vert de Paris puis des insecticides, du lindane et DDT jusqu'au méthoxychlor, et des régulateurs de croissance des insectes. Les effets néfastes de ces produits chimiques sur les organismes non cibles ont conduit à rechercher des procédés plus respectueux de l'environnement. Par ailleurs, des résistances aux insecticides chimiques sont rapidement apparues (Adler *et al.*, 2017).

1. La lutte biologique :

La lutte biologique peut être définie comme étant l'utilisation volontaire par l'homme d'organismes vivants pour limiter ou annihiler les pertes et/ou les dommages causés par des organismes nuisibles sur les ressources. Trois méthodes distinctes de lutte biologique peuvent être distinguées (Eilenberg *et al.*, 2001; Heimpel et Mills, 2017).

La lutte biologique est le dernier grand mécanisme de gestion des diptères mis en place, elle représente un mode complexe car elle nécessite une très bonne connaissance de l'espèce à éradiquer et de l'espèce à introduire. De plus, il est nécessaire que l'espèce prédatrice soit : facile à élever et être extrêmement spécifique de l'espèce invasive (Nicolas, 2019).

1.1. Les parasitoïdes :

C'est un moyen de lutte en plein essor dans les ateliers de productions de volaille est l'utilisation de parasitoïdes. Un «parasitoïde» est un organisme qui se nourrit et se développe sur ou à l'intérieur d'un autre organisme (son hôte) et qui entraîne toujours la mort de l'hôte à

la fin de son propre développement larvaire. Il s'agit de petites guêpes de l'ordre des Hyménoptères et de la famille soit des Pteromalidae soit des Encyrtidae (Machtinger et Geden, 2017). Ces petites guêpes ont comme particularité de pondre : soit dans l'œuf soit dans la puppe de certains diptères. Le développement des stades immatures se fait en dévorant la larve ou la nymphe de la mouche. Ceci a pour effet de tuer le stade immature du diptère. Ces guêpes sont présentes partout dans le monde.

1.2. Les champignons entomopathogènes :

Un autre type de parasite des Diptères fait aussi l'objet de l'attention des chercheurs du monde entier : les champignons entomopathogènes. On retrouve ces champignons dans la classe des Entomophthorales (Zygomycota) et des Hyphomycètes (Deuteromycota) (Shah et Pell, 2003). Ces champignons ne sont pas des parasites très sélectifs au niveau du choix de leur hôte, ils s'attaquent à de nombreux types d'insectes et même à d'autres arthropodes.

Chez les Simuliidés, on valide aussi des champignons pathogènes. Tout d'abord, des fungi de la famille des microsporidées sont responsables d'infestation sur des larves (Adler et McCreddie, 2019). On reconnaît ces parasites car ils forment des kystes déformant les larves. Toutefois, nous manquons d'informations concernant ces parasites. Un autre champignon pathogène, le *Coelomycidium Simulii* infeste les larves et les entoure d'une trame de mycélium. C'est alors que des spores seront libérées dans le courant, induisant alors l'infestation d'autres larves. Pour ces deux espèces de champignons, peu de données existent mais ces fungi représentent de potentielles voies de recherche.

1.3. Les parasites (Helminthe) :

Il existe d'autres types de parasites provoquant la mort de ces Diptères. Chez les Simulidés, les nématodes de la famille des Mermithidae sont étudiés dans le cadre de projets permettant d'envisager une lutte biologique.

Ces nématodes sont de petits vers aquatiques se déplaçant dans le courant, à la rencontre d'une larve de Simulie, ils entrent dans son corps à l'aide d'un stylet situé dans leurs pièces buccales. Durant leur développement au sein de l'hôte ils grossissent jusqu'à atteindre une taille limite puis leur sortie tue la larve. Le nématode se reproduit à nouveau et relargue ses œufs dans le courant.

- Dans certaines zones, ce parasite est déjà retrouvé chez 50% des larves de Simulies (Anderson et Dicke, 1960) et représente un très bon candidat pour une lutte biologique efficace.

- **La lutte via *Bacillus thuringiensis* :**

Les bactéries de l'espèce *Bacillus thuringiensis* sont des bactéries Gram positives. Ces dernières vont, lors de leur sporulation, produire des inclusions cytoplasmiques parasporales, elles sont semblables à des cristaux et sont composées par les protéines cry (Gill et Cowles, 1992). Différents types de protéines existent en fonction des différentes sous-espèces de *Bacillus* (figure 34).

Lorsqu'un insecte ingère cette bactérie, la protéolyse des inclusions parasporales ainsi que le pH alcalin mène à la formation d'une endotoxine qui détruira l'endothélium du système digestif de l'insecte. Cette destruction se fait par la formation de pores dans la muqueuse des premières sections du tube digestif, ces pores permettent la réalisation d'échanges d'ions et d'eau.

Selon les insectes et la toxine, la mort de l'insecte survient de 3 manières différentes : soit par des changements trop brusques du pH de l'hémolymphe, soit par une paralysie du tube digestif atteint ou enfin, soit par une septicémie ayant pour origine les lésions intestinales.

L'utilisation de ces bacilles s'est développée contre les moustiques et les Simulies. Le choix du type de bacille est important car les différents sérovars n'ont pas la même toxicité pour les différents insectes. Certains seront spécifiques des lépidoptères, d'autres, essentiellement des moustiques, d'autres des mouches domestiques. Depuis les années 80, *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* serotype H14 (Bti) est utilisé dans la lutte contre les simulies et son efficacité est remarquable (Nicolas, 2019).

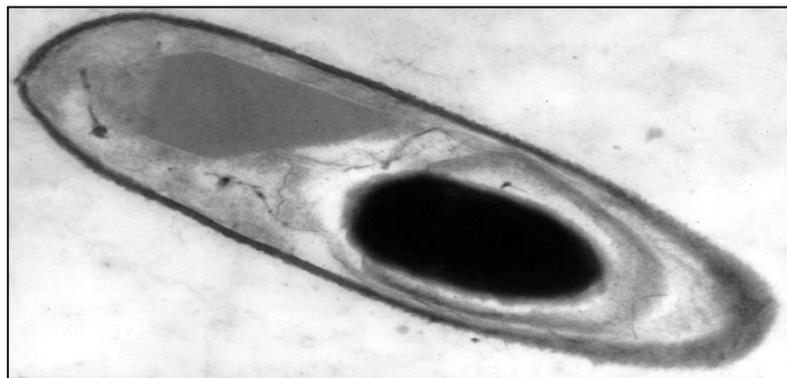


Figure 34 : Coupe longitudinale de *Bacillus thuringiensis* en fin de sporulation. Observation par microscopie électronique (11).

1.4. Les prédateurs naturels :

Dans les bouses à l'état naturel on retrouve une faune très dense composée d'une pléthore d'insectes et d'acariens. Ces espèces évoluent très intimement avec des relations du type prédateurs/ proies. Les mouches, durant leurs stades immatures, vont pour la plupart du temps endosser le rôle de proie.

Les prédateurs tuent et consomment leurs proies souvent au stade larvaire. L'adulte peut soit avoir le même régime alimentaire que la larve, soit être polliniphage, nectariphage, ou encore se nourrir de miellat des Homoptères (comme les syrphes). Les prédateurs sont généralement plus grands que leurs proies (vincent et Coderre, 1992; Boller *et al.*, 2004). On retrouve des espèces prédatrices de façon importante chez neuf ordres d'insectes principalement chez les Hémiptères, Coléoptères, Diptères et Hyménoptères (Boivin, 2001).

La prédation est très commune chez les Simulies (Davies, 1981). Les prédateurs influent sur la densité des populations imaginales, mais ne semblent pas avoir d'effet sur leur longévité moyenne ou sur la capacité reproductive des populations affectées (Crosskey, 1990).

2. La lutte chimique :

La lutte contre les insectes nuisibles aux cultures ne se limite pas à l'usage exclusif de pesticides. Il existe, en effet d'autres procédés qui, s'ils ne sont pas souvent suffisants, ne doivent pas être négligés car ils ont une action certaine dans la limitation des populations d'insectes. La «lutte intégrée», qui est maintenant entrée dans la pratique, n'est autre qu'une combinaison harmonieuse, et non une simple addition, de tous les moyens de lutte, y compris la lutte chimique, pour combattre les ravageurs d'une façon qui soit à la fois efficace, rentable et qui atténue au maximum les inconvénients des pesticides.

On désigne sous ce terme l'ensemble des divers procédés d'application de substances chimiques, les «pesticides», sur les insectes en vue de les détruire, ou tout au moins, de faire baisser leur nombre à un niveau tel qu'ils cessent de représenter une menace pour les récoltes(Maisonneuve et Larose, 1988).

2.1. Les insecticides :

2.1.1. Les différents types d'insecticides :

Actuellement, le moyen le plus utilisé pour lutter contre une population de mouches est l'utilisation d'insecticides. C'est en effet un procédé assez simple à mettre en place, demandant peu d'organisation et dont les résultats sont assez rapidement probants. Dans un

élevage, le recours aux insecticides se fait quand la situation devient incontrôlable ou bien que l'impact économique commence à se faire ressentir.

Toutefois, l'emploi de ces molécules ne doit pas être systématique. En effet, dans cette partie nous verrons que les insecticides ont pour certains une forte toxicité environnementale et sont à l'origine de la destruction de l'entomofaune. De plus, leur emploi trop fréquent aboutit à la sélection de populations d'insectes résistants aux antiparasitaires. Il est donc important de savoir reconnaître les situations adéquates pour entreprendre un traitement et l'utiliser dans les conditions optimales, afin de limiter les effets nocifs de ces molécules (Nicolas ,2019).

Les grandes familles d'insecticides utilisés pour le contrôle des mouches sont les suivantes (Nicolas ,2019) :

Groupe des insecticides	caractéristiques
Pyréthroïdes synthétiques	agissent en modifiant la conduction nerveuse des insectes. un effet « knockdown » sur les arthropodes.
Les lactones macrocycliques	les avermectines et les milbémycines. entraîne une paralysie par absence d'influx nerveux.
Le spinosad	une action sur les larves et les pupes.
La famille des organophosphorés	le blocage de l'acétylcholinestérase.
Les dérivées du pyrrole	Découpler la chaîne respiratoire mitochondriale.

2.2. Les larvicides :

Parallèlement aux insecticides, les larvicides sont des molécules qui s'attaquent au développement des stades immatures des Diptères. Ces molécules sont potentiellement disposées dans l'environnement afin de cibler les lieux de reproduction et de contrôler les émergences de Diptères (Nicolas, 2019) .

Un bacille larvicide spécifique, *Bacillus thuringiensis* H14 est également utilisé. Il est bon marché et efficace (Lepori, 2018).

2.3. Les huiles essentielles et autres produits alternatifs :

L'utilisation des huiles essentielles fait partie des nouvelles méthodes qui permettent de limiter l'usage d'insecticides et de larvicides chimiques. L'intérêt de la phytothérapie est que les principes utilisés sont souvent peu toxiques et avec peu de résistances développées. L'huile essentielle idéale est une huile persistante, avec une action contre les Diptères, non toxique et non irritante avec un coût de production assez bas. Ces substances de plantes peuvent avoir plusieurs effets sur les insectes. Soit, elles peuvent tuer les adultes directement, soit tuer les stades immatures, soit être un répulsif qui empêchera l'insecte de se nourrir (Nicolas, 2019).

Conclusion

Les Diptères à larve aquatique sont répandus dans toutes les grandes régions du monde, et montrent une grande possibilité d'adaptation et vivent dans des conditions extrêmes, et se sont souvent les seuls insectes présents dans les cours d'eau issus des grandes glaciers. Certaines larves aquatiques de Diptères vivent dans les fosses d'aisance, se rencontrent aussi bien dans des zones à courant très vif que dans des zones hydropétriques.

Les adultes de Diptères peuvent constituer une source de nuisance soit en raison de leur pullulation, ou leur régime hématophage.

Les Diptères Simuliidae ou mouche noires sont de petits Diptères nématocères, aquatiques à l'état larvaire et nymphal, terrestre à l'état imaginal.

La nécessité de leur étude s'impose fortement pour deux raisons principales :

- Du point de vue sanitaire et économique, les Simuliidae représentent des insectes très redoutés car ils agissent comme vecteurs de nombreuses maladies à l'Homme et l'animal, ils ont aussi, par leur effet de nuisance un impact non négligeable sur le tourisme causent des pertes au niveau de l'élevage du bétail et de volaille.
- Du point de vue biologique et écologique, les simulies sont de bons indicateurs de différentes zones des cours d'eau, en raison de leur sédentarité, leur grande diversité et leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat reflètent particulièrement bien l'état écologique du cours d'eau.

Ces insectes sont d'une grande importance médicale et vétérinaire. Ces arthropodes hématophages sont les vecteurs d'agents pathogènes responsables de deux maladies humaines, l'onchocercose et la mansonellose, et de plusieurs maladies animales très répandues, comme la leucocytozoonose aviaire et l'onchocercose bovine. Les conséquences économiques des simulies sur les activités de plein air telles que l'agriculture, la sylviculture et le tourisme sont bien connues. Elles constituent aussi le seul groupe d'insectes qui a tué des animaux à de nombreuses reprises lors d'attaques massives pour prendre des repas de sang.

Les larves de Simuliides sont des organismes extrêmement vulnérables notamment à l'état larvaire dont les ennemis naturels sont nombreux. Ce travail a mis l'accent, en particulier) sur le parasitisme larvaire qui constitue la voie de transmission de l'onchocercose chez les mouches noires et qui représente un facteur limitant des populations Simuliidiennes naturelles.

La lutte contre ces insectes repose sur des méthodes biologique et chimique, la première consiste en l'emploi d'insecticides cependant la seconde s'appuie sur l'utilisation des ennemis naturels de ces insectes, toutefois cette dernière reste le moyen le moins nocif et toxique pour l'environnement.

Ainsi, ce travail, qui représente une contribution à l'édification d'une base de données bibliographiques sur les Simuliidae et leur parasitisme larvaire, fourni des clés permettant, à l'avenir, de poursuivre des recherches pluridisciplinaires en interagissant avec les disciplines connexes relevant des sciences humaines (économie de la santé, géographie de la santé, anthropologie de la santé) appliquées aux maladies vectorielles.

A

Adler, P.H, 2020. World Black flies (Diptera: Simuliidae): à comprehensive révision of the taxonomic and géographical inventory. University, Clemson, South Carolina,142p.

Adler, P.H., Cherairia, M., Arigue.S.F., Samraoui, B., & Belqat, B. 2015. Cryptic Biodiversity in the cytogenome of Bird-biting Blackflies in North Africa, 29,276-289.

Adler, P. H., Currie, D. C. & Wood, D. M. 2004. The Black Flies (Simuliidae) of north America.Cornell University Press, Ithaca, Ny., 941 P.

Adler, P.H. and Kim, K. C. 1986. The Black Flies of Pennsylvania (Simuliidae: Diptera): Bionomics, Taxonomy, and Distribution. Pennsylvania State University, College of Agriculture, University Park, 856: 1-88.

Adler, P. H. and McCreddie, J. W. 1997.The hidden écology of black flies: sibling species and écological scale. American Enomologist, 43: 153–161.

Adler, P. H. and McCreddie, J. W. 2002. Blackflies (Simuliidae).Medical and veterinary entomology. Academic press, Sandiego, ca., 185-202 p.

Adler, P. H. and McCreddie, J.W. 2017.Entomologie médicale et vétérinaire, Marseille Versailles, 334p.

Adler, P.H., McCreddie J.W. 2019. Chapitre 14 -Black flies (Simuliidae). Medical and veterinary entomology (third edition). Academic press, 237-59. 74. P.

Agnew, P. Becnel, J .J. Ebert, D and Michalakis .Y 2003.Symbiosis of microspordia and insects, bourtzis and Miller T. A (eds.), insect symbiosis. Crc, boca raton, fl, 19:145-161.

Amghar Assia & Boussouel Souhila. 2015. Faunistique et écologie des Diptères Simuliidae de la Kabylie (Tizi-Ouzou, Algérie). Mémoire de master. Université mouloud mammeri, Tizi Ouzou ,70 p .

Anderson J.R, Dicke J.R 1960. Ecology of the immature stages of some wisconsin black flies (Simuliidae: Diptera). Annals of the entomological society of America, 53:386-404.

Anderson, J. R., and Shemanchuk, J. 1987. The biology of Simulium in Alberta. Part ii. Seasonal parity structure and mermithid parasitism of population sattaacking cattle and ßying over the Athabasca river. *can.entomol.* 119: 29-44.

Aouissi Cherairia, M, 2015. Contribution à l'étude des Simuliidae de l'est Algérien: systématique, écologie et caryologie .Université de 8mai 1945 Guelma, 270 p.

Arigue, S.F., Adler, P.H .,Belqat, B., Bebba, N. et Arab, A. 2016. Biodiversité des mouches noires (Diptera : Simuliidae) et qualité physicochimique des eaux du bassin versant de l'oued el haï (Aurès - Algérie). *Journal of Materials and Environmental Science*, 7:4839–4849.

B

Bailey, C. H., and. Gordon, R .1977.Observations on the occurrence and collection of mermithid nematodes from Black flies (Diptera: Simuliidae). *can. j. zool.* 55: 148-154.

Beard, C. E, and. Adler P. H. 2002. Seasonality of trichomycetes in larval Black flies from South Carolina, USA .*Mycology* 94p: 200-209.

Belqat, B., Adler, P.H., Cherairia, M., & Chaoui Boudghane-Bendiouis, C, .2018. Inventory of the black flies (Diptera: Simuliidae) of North Africa. *zootaxa* 4442 (2): 201–220.

Berthet-Beaufils, A, 2010. Manifestations dermatologiques associées aux Diptères chez le chien et le chat .thèse Doctorat. Faculté de Medecine de Creteil. 169 p.

Bevier D.E, 1999. Insect and arachnid hype sensitivity, *vet. clin. north am. sm. an. pract.*, 26 (6), 1385-1405.

Blanc-Debrune,N , 2019.Impact économique des principales espèces de Diptères sur l'élevage bovin français et méthodes de lutttes associees, 139 p.

Boivin, G., 2001. Parasitoïdes et lutte biologique: paradigme ou panacée Centre de recherche et de développement en horticulture, agriculture et agroalimentaire Canada, *Vertigo*, 2 :2 p.

Boller, E.F., Häni, F., Poehling, H.-M., 2004. Ecological infrastructures: ideabook on functional biodiversity at the farm level, temperate zones of Europe. Job cwprs, commission on integrated production guidelines and endorsement, switzerland.194p.

Borror, D.J. Triplehorn, C.A. et Johnson, N.F. 1992. An introduction to the study of insects. édition, Orlando : saunders college publishing, 875 p.

Boubrouta, D et Iguernlaala, H . 2014. Contribution à l'étude des arthropodes a intérêt médical et vétérinaire dans la réserve de chasse de Zéralda (rcz). Mémoire de master. Université de Blida1, 55p.

Boukhateb, Y., 2013. Etude des Diptères Simuliidae de la haute Tafna (nord-ouest algérien).mémoire de master. Université de Tlemcen, 38 p.

Bussierras, J. et Chermette R.1991. Abrégé de parasitologie vétérinaire, fascicule iv : entomologie vétérinaire. polycopie du service de parasitologie de l'école nationale vétérinaire d'Alfort, 163 p.

Butler, J. et Hagsette, J.A . 2013. Blackflies, Simuliim spp. (Insecta: Diptera: Simuliidae). University of Florida, 30 p.

C

Chance, M.M. 1970.The functional morphology of the mouthparts of Blackfly larvae (Diptera: Simuliidae). Questions entomologic, 6:245-284.

Chaoui Boudghane-Bendiouis, C. 2016.Caractérisation et modélisation des habitats des Simulies (Diptera: Simuliidae) du bassin versant de la Tafna. Thèse de Doctorat, université de Tlemcen, 168 p.

Chaoui Boudghane-Bendiouis, C., Abdellaoui. H, Belqat, B. Franquet, E., Boukli Hacene, S. & Yadi, B. 2014. Habitat characterization of Black flies (Diptera: Simuliidae) in the catchment of western Alegria. Open journal of ecology, 4, 1014-1024.

Chaoui Boudghane-Bendiouis, C., Belqat, B,-Abdellaoui, H . et Yadi, B. 2012.Check-list des Simulies (Diptera:Simuliidae) d'Algérie. boletin de la sociedad entomológica Aragonesa, 50, 305–308 .

Centre national de la recherche scientifique, 2013. Découvrir l'eau. CNRS, 2p.

Cherairia, M and Adler, P. H., 2018. Genetic variation in a colonization specialist, *Simulium ruficorne* (Diptera: Simuliidae), the world's most widely distributed black flies, 19p.

Cherairia, M, Adler, P.H. and Samraoui, b. 2014. Biodiversity and bionomics of the Black flies (Diptera: Simuliidae) of northeastern Algeria. *zootaxa*, 3796: 166-174.

Clergue-Gazeau, M. 1991. Clés de détermination des Simulies des pyrénées. *Annales de limnologie - international journal of limnology*, 27: 267-286.

Colbo, M. H .1990.Persistence of mermithidae (nema-toda) infections in Black flies (Diptera: Simuliidae) populations. *J. am. mosq. contr. assoc.* 6: 203-206.

Craig, D. A. 1975. The larvae of Tahitian Simuliidae. *Journal of medical entomology*, 12:463-476

Crosskey, R.W. 1990. The natural history of blackflies. John Wiley & Sons, Chichester, U.K, 711 p.

D

Davies, I. 1981. Predator upon Blackflies. Academic press, 399p.

Davies, D. M., Peterson, B.V.and Wood, D.M. 1962.The Black flies (Diptera:Simuliidae) of Ontario. Part i. adult identification and distribution with descriptions of six new species. *proceedings of the entomological society of Ontario*, 92: 70-154

Deligne, J. and Devos, L. 1981. Aspects ultra structuraux d'adaptations écologiques chez les larves de Simuliidae (Diptera: Nematocera). *Annales de la société royale zoologique de Belgique*, 4: 113-123.

Depaquit, J et Léger, N .2007.Les phlébotomes (Diptera : Psychodidae : Phlebotominae) 295-296 p.

Dieng H. (1995) - Les moustiques et la transmission du paludisme en 1995 dans la zone de Niakhar (sénégal). Mémoire de D.E A. de biologie animale, Université cheikh anta diop de Dakar, 129p.

Duke. B.L, 1993. The population dynamies of *Onchocerca volvulus* in the humain host. *Trop med parasitol*, 44: 61-8.

E

Edwards, F.W. 1923. On Some Algerian Species of Simulium. Archives de L'institut Pa

Eilenberg, J., Hajek, A., Lomer, C., 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. Bio control 46, 387–400.

Embrapa, 2013 . Reconnaissance de ravageurs et ennemies naturels pour les pays c-4,47p. steur d'Algérie, 1: 647-653.

Euzet, L. 1989. Ecologie et parasitologie. bulletin écologique, 20:277-280 p.

Ezenwa, A. O and Carter, N. E. 1975. Influence of multiple infections on sex ratios of mermithid parasites of black-flies. Environ. Entomol. 4: 142-144.

F

Finney, J.R.1981.Potential of mermithids for control andin vitro culture. laird (ed.), Black flies: the future for biological methods in integrated control .academic,New york.3:266-74.

Foil L.D. 1989. Tabanids as vectors of disease agents. Parasitology today. 5: 86-96.

Foil L.D et Gorham J.R 2000. Mechanical transmission of disease agents by arthropods. in: B.F. Eldridge and J.D. Edman, Medical entomology. dordrecht, the netherlands, kluwer academic publishers. 584 : 461-514.

Frolet C.2006. Rôle des voies de signalisation dans la réponse immunitaire du moustique anopheles gambiae. tèse Doctorat. École doctorale sciences de la vie et la santé ;Université louis pasteur Starsbourg1, 158p.

G

Gagneur, G. et Clergue-Gazeau, M .1988. Les simulies d'Algérie (Diptera: Simuliidae).. Premières données biogéographiques et écologiques sur les espèces de L'ouest-Algérien. Annales de limnologie, 24: 275-284.

Gaumont, R., 2020. Diptères. Encyclopædia Universalis. 10p.

Gill S.S, Cowles E.A, Pietrantonio P.V. 1992 The mode of action of bacillus thuringiensis endotoxins. Annual review of entomology, 37:615-34.

Gordon, R., Ebsary, B.A. and Bennett, G.F. 1973. Potentialities of mermithid nematodes for the Biocontrol of Black flies (Diptera: Simuliidae) review. Experimental Parasitology, 33: 226-238.

Gordon, R. 1984.Nematode parasites of Black flies.Nickel, R (ed.), plant and insect Nematodes. Marcel Dekker, New York, 925p.

Gradinarovl, D. 2014. The mermithid species isomermis lairdi (Nematoda, Mermithidae), previously only known in Africa, found in Europe. University “St. Kliment Ohridski”, 8 dragan tsankov blvd., 1164 Sofia, Bulgaria, 454:5-6.

Grasse, P .P 1985. Abrégé de zoologie. Ed. Masson, Paris, 250 p.

Grenier, P. 1953. Simuliidae de france et d’Afrique du nord (systématique, biologie, importance médicale). Encyclopédie Entomologique Série A, 29: 1-170.

H

Hapsari, M. P., White, M. M. , Chukeatirote , E .and Hyde, K.D .2009a.Seasonality of harpella melusinae l’gerand duboscq (harpellales) in Black flies larva einnorthernthailand. cryptogamie, mycologie. 30: 191-198.

Hapsari, K.P, White, M.M. and. Hyde, K.D. 2009b.Fresh-water trichomycetes from Northern Thailand. Cryptoga-mie, Mycologie,30: 405-42.

Harcel, N.T. 2008. La mouche noire et le comportement des population cas du bassin Nyong-Sanaga au Cameroun. Institut sous régional de statistique et d’économie appliqué (I.S.S.E.A),69 : 04-15.

Hassaine, K. 2002. Bio écologie et biotypologie des culicidae (Diptera, Nematocera) de l’Afrique méditerranéenne. Biologie des espèces les plus vulnérantes (aedescaspius,

aedesdetritus, aedesmariae et culex pipiens) dans la région occidentale algérienne. Thèse. doctorat., Abou Baker Belkaid, Univ., Tlemcen, 191 p.

Haugard ,J.M ,1986. Lutte contre les simulies et les moustiques : évaluation dans les conditions naturelles de l'efficacité de nouveaux larvicides, agents de lutte biologique analogues de régulateurs de croissance. Thèse de Doctorat de l'Université Paris 6 ,19p.

Heimpel, G.E., Mills , N.J., 2017. Biological control: ecology and applications. Cambridge University press, New York. 380p.

I

Ichtwardt ,R. W. 2008. Trichomycetes and the arthropod, berlin, Germany.3-19.

J

Jitklang, S., Ahantarig, A., Kuvangkadilok, C., Baimai, V., and Adler, P.H. 2012. Parasites of larval Black flies (Diptera: Simuliidae) in Thailand.598p.

K

Kabre, D. 1998. Épidémiologie de l'épilepsie dans le foyer d'onchocercose au bassin de la Bougouriba (Burkina Fasso). Diplôme d'état, Université d'Ouagadougou, 53p.

Kettle D.S, 1995. Médical and veterinary entomology, 2nd ed. Walling ford : cab international, 725p.

Knight, K.L, Stone,A .1977. Catalog of the mosquitoes of the world (Diptera, Culicidae), 48:591-638.

L

Labeyrie, E.S, Molloy, D. P and Lichtwardt, R. W .1996. An investigation of harpellales (trichomycetes) in New York state Black flies (Diptera: Simuliidae). J. Invertebr.pathol. 68: 293-298.

Lacey, L.A and. Undeen, A. H . 1988 .The biological control potential of pathogens and parasites of Black flies. C. Kim and R. W. Merritt (eds.), Blackflies: ecology, population management, and annotated world list. pennsylvania state University.

- Laird, M. (ED.), 1981. Black flies : the future for biological methods in integrated control. Academic press, New York, 118 :310-390.
- Laparé, R. 1980. écologie des mouches noires (Diptera : Simuliidae) de Ig2 radisson (territoire de la baie james, québec). Mémoire de master en sciences de l'environnement, Université du Québec à Trois-Rivières, 92 p.
- Lee ,S. Corradi,C Byrnes,N , Torres-martinez, E.J, Dietrich, S., Keeling, P. And Heitman, J. 2008. Mi-crospordia evolved from ancestral sexual fungi. Current biol ,18: 1675-1679.
- Léger, L. & Duboscq, O. 1929. Harpella melusinaen. G. N, Entophyte eccrini, S.P.Forme parasite des larves de Simulies. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'académie des sciences, 188: 951-954.
- Leopri, A.S. 2013. L'onchocercose : données actuelles et nouvel horizon thérapeutique le rôle de la doxycycline dans le traitement de l'onchocercose. Thèse Doctorat, Université de Lorraine.p41, 48,50.
- Leuckaxat, 1893. Biodiversité et biotypologie des eaux continentales ,213 p.
- Lichtwardt, R. W. 1986.The trichomycetes, fungal associ-ates of Arthropods. Springer, New York, 342P.
- Lichtwardt, R. W. 2008.Trichomycetes and the arthropod, P.P. 3-19.ina. Brakhage A. and Zipfel, P. F. (eds.), the mycota. vi. human and animal relations, and E.D.Springer, Berlin,German.40:290-302.
- Lok, J.B., Pollach, R.J., Cupp, E.W., Bemardo, M.J., Donnelly, J.J. & Albiez, E.J, 1984. Développement of onchocerca lienalis and onchocerca volvulus from the third to fourth larval stage in vitro. Trop med parasitol, 35: 209-11.
- Lounaci, A., Brosse, S., Ait mouloud, S., Lounaci-daoudi, D, Mebarki, N &Thomas, A. 2000a. Current knowledge of benthic invertebrate diversity in an Algerian stream: a species check-list of the sébaou river basin (tizi-ouzou). bulletin de la société d'histoire naturelle de Toulouse, 136: 43-55.
- Lounaci, A., Brosse, S., Thomas, A & Lek, S. 2000b. Abundance, diversity and community structure of macro invertebrates in an Algerian stream: the sébaou wadi. Annales limnologie, 36: 123-133.

M

- Machtinger et, Geden C.G. 2017. 11. Biological control with parasitoids. dans: pests and vector-borne diseases in the livestock industry. wageningen academic publishers, 299-335p.
- Madani, R., et Moussous, L, 2016. étude des Diptères Simuliidae de la Kabylie Simuliidae (Tizi-Ouzou–Algérie). Mémoire de master. Université mouloud mammeri de TiziOuzou,50p.
- Maisonneuve et Larose, 1988. Insectes nuisibles aux cultures vivrières et maraîchères,105p.
- Matousek J.L, 2004. Diseases of the ear pinna, vet. Clin. Small Anim., 34, 511-540.
- Maurand, J. 1975.Les microsporidies des larves de Simulies: systématique, données cytochimiques, pathologiques et écologiques. Ann. parasitol. hum. Comp ,50: 371-396.
- Maurand, L. 1973. Recherches biologiques sur les microsporidies des larves de Simulies. Thèse de Doctorat, Université des sciences et technologies du Languedoc, 299 p.
- Mavoungou, J.F., Simo, G et Stordeur,E et Duvallet G. 2008. Écologie des stomoxes (Diptera : Muscidae) au Gabon. ii. origine de repas de sang et conséquences épidémiologiques. Parasite, 15: 611-615.
- Mccreadie, J. W and. Adler, P.H. 1999.Parasites of larva Black flies (Diptera: Simuliidae) and environmental fac-tors associated with their distributions. invert. Zool, 118:310-318.
- Mccreadie, J.W, Adler, P.H. and Beard, C.E. 2011. écology of symbiotes of larval Black flies (Diptera: Simuliidae): distribution, diversity, and scale. Environnemental entomology, 40: 289-302.
- Mccreadie, J. W and Beard, C. E and Adler, P.H. 2005b.Context-dependent symbiosis between Black flies (Diptera:Simuliidae)and trichomycete fungi (harpella les:legeriomycetaceae) oikos ,108: 362-370.
- Mehira, I. et Menara, S. 2014. Onchocercose et manifestations dermatologique et oculaires associées aux Diptères Simuliidae chez l’homme mémoire de master. Université 8 mai 1945, Guelma, 101p.

Metri, L., 2016. Contribution à l'étude du peuplement Simulidien le long de Oued Chouly mémoire de master, Université Aboubekr Belkaid Tlemcen ,45 p.

Molloy, D. P. 1981. Mermithid parasitism of black flies (Diptera: Simuliidae). *G. Nematol.* 13: 250-256.

Mondet, B. 1981. études sur *isomermis lairdi* (Nematoda, Mermithidae), parasite de *Simulium damnosum* L. (Diptera, Simuliidae) en Afrique de l'ouest. travaux et documents de l' O.R.S.T.O.M. ,161 p.

Mondet, B.B. Pendriez, and Bernadou, J. 1976. étude du parasitisme des Simulies (Diptera) par des mermithidae (Nematoda) en Afrique de l'ouest. 1. observations préliminaires sur un cours d'eau temporaire de savane. *Cahiers Orstom (entomol. mé d. parasitol.)*. 14: 141-149.

Moss, S.T and Descals, E. 1986. A previously undescribed stage in the life cycle of harpellales (trichomycetes). *Mycologia*, 78: 213-222.

Mouchet J., Faye O. et Handschumacher p. 1995. Les vecteurs de maladies dans les mangroves des rivières du sud, 7 :117-123 .

Mylène ,G.E . 2007. étude écologique et moléculaire des mermithides parasites de mouches noires (Diptera : Simuliidae) du Québec , Université du Québec à trois- rivières : 87 p.

N

Nelder, M.P , Beard, C.E , Adler, P.H , Kim, S.K and McCreddie, J. W 2006. Harpellales (zygomycota: trichomycetes) associated with Black flies (Diptera: Simuliidae): world review and synthesis of their ecology and taxonomy. *fungus diversity* 22: 121-169.

Nelder, M.P, Beard, C. E. and. McCreddie, J. W. 2010. Seasonality and host usage of trichomycetes in larval Black flies (Diptera: Simuliidae) of Southern Alabama, Usa. *Fungal ecol.* 3: 43-48.

Nicolas, B.M , 2019. Impact économique des principales espèces de Diptères sur l'élevage bovin français et méthodes de lutttes associées ,139p.

O

Olsen O.W,1986. Animal parasites: Their life cycles and ecology. Courier corporation, 578p.

Organisation mondiale de la santé ,2002 . Module de formation des entomologistes nationaux à la prise en charge et à la supervision des activités entomologiques de lutte contre l'onchocercose, 32 p.

Opperdoes, F.R, 2003 . Cours de parasitologie (biol 2272), 48p.

P

Parrot, L. 1949. Quelques notes sur les Simulidés d'Algérie. Archives de l'institut pasteur d'Algérie, 27 :273-276 p.

Peter H. Adler, P.H., et Mccreadie J .W.,2017. Entomologie médicale et vétérinaire.688p

Peterson, B. V. 1981. Simuliidae. Manual of nearctic Diptera. monograph research branch, agriculture Canada. Ottawa, 1: 355-391

Phelps, R. J., and Defoliart, G. R. 1964.Nematode parasitisme of Simuliidae. Univ. Wisc. Agric. exp. sta. res. bull.245: 1-78.

Philippon, B. & Bain, 1972. Transmission de l'onchocercose humaine dans en zone de savane d'Afrique occidentale. passage des microfilaires d'onchocerca volvulus leuk dans l'hémocile de la femelle de Sumilum damnosum th. cah orstom ser ent med parasitol, 10:251-261.

Philippon, B. 1978. l'onchocercose humaine en Afrique de l'ouest: vecteurs, agent pathogène, épidémiologie, lutte. office de la recherche scientifique et technique outre-mer, cahier O.R.S.T.O.M. Paris, 197 p.

Poinar, G. O., J.R. 1981.Mermithid nematodes of black flies. laird (ed.). black flies: the future for biological methods in integrated control. Academic, New York, 200p.

Poinsignon A. 2005. Diversité et fonctions des protéines salivaires chez les arthropodes vecteurs : étude de la relation immune homme/vecteur au cours de la trypanosomiase humaine Africaine.Thèse Doctorat. Faculté de pharmacie, Univ. Paris xi, 116 p.

Puri, I.M., 1925. On the life-history and structure of the early stages of Simuliidae (Diptera: Nematocera). Part. i. parasitology, 17: 295-337.

R

Raastad, J., 2007 - "Fennoscandian Black flies (Diptera, Simuliidae): Annotated list of the species and their gross distribution," *rhizocrinus*11, 1–28.

Ripert, C. 2007. épidémiologie des maladies parasitaires - tome 4affections provoquées ou transmises par les arthropodes,4 :518p

Rizzo, A.M., and Pang, K.-L. 2005.A zygosporic stage of the harpellales (trichomycetes, zygomycota) associated with Simuliid egg masses. *mycol. res.* 109: 266-270.

Rodhain, F. et Perez, C. 1985. Précis d'entomologie médicale et vétérinaire. ed. maloine ,Paris, 323 p.

Ross, D.H. & Craig, D.A. 1979. The seven larval instars of *simulium prosimulium mixtum* syme and davies and *p. fuscum* syme and Davies (Diptera: Simuliidae). *Canadian journal of Zoology*, 57: 290-300.

Rouet, D. 2011. Dynamique des populations de *stomoxys calcitrans* dans un site urbain. L'école nationale vétérinaire de Toulouse. Thèse d'exercice. médecine vétérinaire. Toulouse3, 116p.

Rubstov, I. A. 1956. Blackflies (Simuliidae): Fauna of the ussr Diptera; volume 6, part 6. Academy of sciences of the ussr, zoological institute, Moscow, 42 p.

S

Sarıözkan, S, N., A., yıldırım., A., D ZL , ., Gray, E. W. & Adler, P.H. 2014. *Simulium (wilhelmia)* species (Diptera: Simuliidae) in the cappadocia region of turkey. *Türkiye parazitoloji Dergisi*, 119P

Scott D.W., Miller W.H., Griffin C.E, 2001.Skin immune system and allergic skin diseases, muller and kirk's small animal dermatology, 6th ed. philadelphia : w.b. saunders compagny, , 667p.

Séguy, E. 1951. Diptère, in traité de zoologie. ed. masson, t.x. fasc. i, Paris, 152 p.

Shah P.A, Pell J.M. 2003 entomopathogenic fungi as biological control agents. *Applied microbiology and biotechnology.*;61:413 23p.

Sharp, A. 2007 .Mermithid (Nematoda: Mermithidae) infections of black flies (Diptera: Simuliidae): seasonal variation and developmental characteristics. Mémoire de master. Brock University, St. Catharines, Ontario, 116 p.

Smart, J.S. 1944. The British Simuliidae with keys to the species in the adult, pupal and larval stages. Freshwater Biology Association of the British Empire Scientific Publication, 9:1-57.

St-Onge, M., and G. Charpentier. 2008. Mermithids (Nematoda: Mermithidae) parasitizing different black flies (Diptera: Simuliidae) populations in Quebec: environmental parameters related to their presence or absence in the studied brooks. J. Am. Mosq. Contr. Assoc. 24:438-443.

Strote G, 1985. Development of infective larvae of *Onchocerca volvulus* in diffusion chamber implanted into *Mastomys natalensis*. Trop Med Parasitol, 36: 120-2.

Sutcliffe J.F., Mciver S.B, 1984. Mechanics of blood feeding in blackflies (Diptera : Simuliidae). J. Morphology. 180, 125-144p

Suty, L. 2010. La lutte biologique: vers de nouveaux équilibres écologiques .educagri éditions/2ditions quae, 7p.

T

Tang, X., Adler, P.H., Vogel, H., Ping, L., 2012. Gender-specific bacterial composition of black flies (Diptera: Simuliidae). Fems Microbiology Ecology, 80 :659-670.

Tarrant, C. A. 1984. The vertical transmission of black flies (Diptera: Simuliidae) parasites. Ph. D. thesis. Cornell University, Ithaca, 90p.

Taylor, M. R., S. T. Moss, and Ladle, M. 1996. Temporal changes in the level of infestation of *Simulium ornatum* Meigen (complex) (Simuliidae: Diptera) larvae by the endosymbiotic fungus *Harpella melusinae* Lichtwardt (Harpellales: Trichomycetes). Hydrobiologia 328p:117-125.

T-Onge, M., and Charpentier G.R. 2008. Mermithids (Nematoda: Mermithidae) parasitizing different Black fly (Diptera: Simuliidae) populations in Quebec: environmental parameters related to their presence or absence in the studied brooks. J. Am. Mosq. Contr. Assoc. 24: 438-443.

V

Vaillant, F. 1955. Recherches sur la faune madicole de France, de corse et d'Afrique du nord. mémoire du muséum d'histoire naturelle, Paris, 11: 1-258.

Valkiunas G, 2004. Avian malaria parasites and other haemosporidia. crc press, 947 p.

Valle, L.G. (2006). Asellariales (trichomycetes) from the iberian peninsula. Fungal diversity 21: 167-179.

Vincent, C, Coderre, D., 1992. La lutte biologique. gaëtan morin, québec, Canada. 641p.

Vojvodi, S., and Mccreadie J. W. . 2007. The effect of temperature and host species on the development of the trichomycete *Smillium culisetae* (zygomycota). mycology 99: 412 - 420.

W

Wanson, M, Henarard, C. & Peel, E, 1945. *Onchocerca volvulus* leaker. infection indices of man-biting *Simulium*. développement cycle in *Simulium damnosum* the oblad. Recoil travaux sci med congo belg, 4: 122-238.

Wenk, P, 1981. bionomics of adult Blackflies. in : laird m., (ed.), Blackflies. Academy press London, 259-279.

Werner, D., Pont, A.C. 2003. Diptera predators of Simuliid Blackflies : a world wide review. medical and veterinary entomology, 17: 115-132.

Werner, D. & Pont, A. C. (2006). New results on Diptera predators in the Black fleis plague areas of central Europe and the Caucasus. Acta entomologica serbica, supplement: 131-140.

White, M. M., Siri, M, and. Lichtwardt. R.W .2006b. trichomycete insect symbionts in great smoky mountains national park and vicinity. Mycologia 98p: 333-352.

Williams, M.C. 1983 Spore longevity of *smittium culisetae* (harpellales, legeriomycetaceae). mycologia 75: 171-174.

Wood, D.M., Peterson, B.V., Davies, D.M. & Gyorkos, H . 1963. The black flies (Diptera: Simuliidae) of ontario. part ii. Larval identification, with description and illustration. Proceedings of the entomological society of Ontario, 93: 99-129

Y

Yeboah, D. O., Undeen A. H, and, Colbo, M.H. 1984. Phcomycetes parasitising the ovaries of black flies (Simuliidae). j. invertebr. pathol. 43p: 363-373 .

Webographie

1. <https://www.flickr.com/photos/42244964@n03/19917316372> consulté le 20-8-2020
2. https://www.alamyimages.fr/fly-famille-des-muscides-sur-la-reine-des-pres-de-fleurs-powys-pays-de-galles-en-aout-image66021962.html?pv=1&stamp=2&imageid=c9a7fe73-306b-4dea-a7d9-475eca03ff81&p=19792&n=0&orientation=0&pn=1&searchtype=0&isfromsearch=1&srch=foo%3dbar%26st%3d0%26pn%3d1%26ps%3d100%26sortby%3d2%26resultview%3dsortbypopular%26npgs%3d0%26qt%3dmuscidae%26qt_raw%3dmuscidae%26lic%3d3%26mr%3d0%26pr%3d0%26ot%3d0%26creative%3d%26ag%3d0%26hc%3d0%26pc%3d%26blackwhite%3d%26cutout%3d%26tbar%3d1%26et%3d0x000000000000000000000000000000%26vp%3d0%26loc%3d0%26imgt%3d0%26dtfr%3d%26dtto%3d%26size%3d0xff%26archive%3d1%26groupid%3d%26pseudoid%3d%26a%3d%26c%3d%26cdsrt%3d%26name%3d%26qn%3d%26apalib%3d%26apalic%3d%26lightbox%3d%26gname%3d%26gtype%3d%26xstx%3d0%26simid%3d%26saveqry%3d%26editorial%3d1%26nu%3d%26t%3d%26edoptin%3d%26customgeoip%3d%26cap%3d1%26cbstore%3d1%26vd%3d0%26lb%3d%26fi%3d2%26edrf%3d0%26ispremium%3d1%26flip%3d0%26pl%3d consulté le 20-8-2020
3. <https://www.flickr.com/photos/nickadel/31048762705/> consulté le 20-8-2020
4. <https://www.insecte.org/forum/viewtopic.php?t=62038> consulté le 20-8-2020
5. https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3a%2f%2fentnemdept.ufl.edu%2fcreatures%2faquatic%2fbiting_midge02.jpg&imgrefurl=http%3a%2f%2fentnemdept.ufl.edu%2fcreatures%2faquatic%2fbiting_midges.htm&tbnid=gjigbhwtqw_agm&vet=12ahukewj7pdzgtvprahvqgm4bhxuwa74qmygceguiarcgaq.i&docid=fac50awpln3vbm&w=500&h=300&q=culicoides%20sonorensis%20&ved=2ahukewj7pdzgtvprahvqgm4bhxuwa74qmygceguiarcgaq#imgrc=gjigbhwtqw_agm&imgdii=lxckatxiynkmjm consulté le 20-8-2020
6. https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3a%2f%2fcommons.wikimedia.org%2fwiki%2ffile%3aclogmia_albipunctata.jpg&psig=aovvaw1kot8_i1cae08k9gs-senx&ust=1600543452656000&source=images&cd=vfe&ved=0ca0qjhxqfwotcpin7pe38-scfqaaaaadaaaaabad consulté le 20-8-2020
7. <https://www.insecte.org/forum/viewtopic.php?t=62038> consulté le 20-8-2020
8. <https://chcgestionparasitaire.com/le-saviez-vous/simulie/> consulté le 20-8-2020

9. https://l.facebook.com/l.php?u=https%3a%2f%2fchcgestionparasitaire.com%2fle-saviezvous%2fsimulie%2f%3ffbclid%3diwar15iuaptsem2fs_lto8opzsf9buvsjzbobfk9lrwvocjmv7a8tdwsz6e8&h=atlgpnwt3p1fgd27xyzymk0kct0qmmvrqxzcmr2zk491wu_layp9w3lzf_1dl2bcuwwqawv7p3cvjshvjhr6xuk6nzp4qqtfauwmljnhq_qwozqn0jfw_wlscqytt3ygr7wsg consulté le 20-8-2020
10. http://www.eidmed.org/sites/default/files/plaquette_moustiques_ou_pas_moustiques.pdf consulté le 20-8-2020
11. https://www.google.com/search?q=coupe+longitudinale+de+bacillus+thuringiensis+en+fin+de+sporulation.+observation+par+microscopie+%c3%a9lectronique&sxsrf=alekk03nlwbbxub0ria0brnpzlfzsd0kia:1600500597438&source=lnms&tbm=isch&sa=x&ved=2ahukewisx8qs2ftrahvwrxiuhctddwoq_auoaxoecawqaw&biw=1366&bih=608#imgrc=9kd5tm5kff10nm consulté le 20-8-2020