

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة الإخوة منتوري قسنطينة

Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département de Biologie Animale

N° d'ordre : 74/DS/2016

Série : 04/BioA/2016

Thèse

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT
EN SCIENCE

Spécialité : Entomologie

Option : Application Agronomique et Médicale

Caractérisation des insectes nécrophages, leur utilité en
médecine légale et dans les enquêtes judiciaires

Présenté par : Mr. Boulkenafet Fouzi

Devant le jury :

Président : Pr. LOUADI Kamel Professeur Université des Frères Mentouri Constantine
Promoteur: Pr. BERCHI Sélima Professeur Ecole Nationale supérieure de Biotechnologie
Examineurs : Pr. Mezedjri Lyamine Professeur Université du 20 Août 1955. Skikda
Dr. Djerrou Zouhir MCA Université du 20 Août 1955. Skikda
Dr. BENKENANA Naima MCA Université des Frères Mentouri Constantine

Soutenu le 04/07/2016

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier très sincèrement mon Prof. S. Berchi, d'avoir proposé ce sujet de thèse et de m'avoir fait confiance pour tenter de le mener à bien. Je vous suis surtout reconnaissant de m'avoir permis de faire mes premiers pas dans le monde de la recherche, lors de mon Magister. Je vous remercie vivement.

Je voudrais témoigner toute ma gratitude au Prof. S. Lambiase pour sa disponibilité pendant toute la période de mon stage en Italie et tout le temps qu'elle m'a consacré malgré son agenda surchargé, pour sa patience, pour sa gentillesse et pour ses conseils avisés. Nos échanges ont toujours été très riches d'enseignements pour moi et d'une aide particulièrement précieuse.

Je tiens également à remercier mon Prof. K. Louadi, d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

J'adresse mes sincères remerciements au Prof. L. Mezedjri et au Dr. Z. Djerrou, qui m'ont fait l'honneur d'accepter la tâche d'examineurs de ce manuscrit. Ces remerciements vont également au Dr. N. Benkenana pour avoir accepté d'évaluer mon travail en tant que membre du jury de thèse.

A titre plus personnel, je veux remercier les proches qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de cette thèse, et ce malgré quelques difficultés à saisir certaines subtilités de mon travail. A commencer par mes parents qui m'ont toujours fait confiance en me donnant les moyens d'arriver jusqu'ici. Un immense merci à ma petite famille qui aura été d'un soutien tout aussi inébranlable.

Sommaire

INTRODUCTION :	1
CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE. ECOSYSTEME AUTOUR D'UN ORGANISME MORT	4
I.1. Rôle de la science légale dans les enquêtes criminelles :	4
I.2. Historique de l'entomologie médico-légale :	5
I.3. Rôle et biologie des insectes en entomologie forensique :	7
I.3.1. Processus de décomposition d'un corps :	7
I.3.1.1. Le stade frais :	7
I.3.1.2. Le Stade de gonflement :	7
I.3.1.3. Stade de décomposition (active/avancée) :	8
I.3.1.4. Stade de squelettisation :	10
I.3.2. Paramètres influençant la décomposition d'un corps.....	10
I.4. Biologie, Taxonomie et histoire des insectes associés aux cadavres	11
I.4.1. Groupes écologiques	11
I.4.1.1. Les espèces nécrophages :	11
I.4.1.2. Les espèces nécrophiles :	11
I.4.1.3. Les espèces omnivores :	11
I.4.1.4. Les espèces opportunistes :	12
I.4.2. Biologie des insectes nécrophages	12
I.4.2.1. Les Diptères :	13
I.4.2.2. Les Coléoptères :	15
I.5. Les Diptères nécrophages :	17
I.5.1. Les principales familles de Diptères nécrophages :	17
I.5.1.1. Calliphoridae :	17
I.5.1.2. Sarcophagidae	19
I.5.1.3. Piophilidae :	19
I.5.1.4. Fanniidae	19
I.5.1.5. Muscidae	20
I.5.1.6. Phoridae	22
I.5.2. Cycle biologique.....	22
I.5.3. Attraction chimique et communication	23
I.5.6. Stratégies reproductrices des Diptères nécrophages.....	25
I.5.7. Biologie des masses larvaires.....	27
I.5.7.1. Compétition individuelle	27
I.5.7.2. Grégairisme et augmentation de la température	30
I.6. L'intervalle <i>post mortem</i> (IPM) :	32
I.6.1. Qu'est-ce qu'un IPM ?.....	32
I.6.2. Pourquoi l'PMI est important?.....	33
I.6.3. L'IPM minimum	34

I.7. Le rôle des Diptères nécrophages dans l'estimation de l'intervalle post-mortem	34
I.8. Principe de la technique de calcul d'IPM	35
I.9. Les Insectes en tant qu'indicateur toxicologique	38
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	42
II.1. Sites d'étude	42
II.2. Modèle animal	42
II.3. Prélèvement sur terrain	42
II.3.2. Méthodes de collecte	45
II.3.2.1. La collecte de spécimens fixés	46
II.3.2.2. La collecte des spécimens vivants	46
II.3.3. Conditions microclimatiques	47
II.4. Traitement des prélèvements au laboratoire	47
II.4.1. Montage et identification	47
II.4.1.1. Préparation et montage des adultes	47
II.4.1.2. Montage des larves	48
II.5. Identification des spécimens	49
II.6. Techniques d'élevages	51
II.7. Méthodes d'analyse et d'exploitation des résultats	52
II.7.1. Méthode d'exploitation des résultats par des indices écologiques	52
II.7.1.1. Indice Ecologique de Composition	52
II.7.1.2. Indice écologique de structure	53
II.7.2. Méthode d'exploitation statistique des résultats	54
II.7.2.1. Méthodes statistiques Uni-variées	54
II.7.2.2. Méthodes Statistiques Multi-variées	56
CHAPITRE III : RESULTATS	57
III.1. Structure de la faune nécrophage	57
III.1.1. Composition des Diptères nécrophages	57
III.2. Analyse de la faune des Diptères nécrophages par des indices écologiques	72
III.2.1. Analyse des résultats des expérimentations par des indices écologiques de composition	72
III.2.1.1. Richesse spécifique	72
III.2.1.2. L'abondance relative	72
III.2.2. Analyse des résultats des expérimentations par des indices écologiques de structure	73
III.2.2.1. L'indice de diversité de Shannon-Waever et d'équitabilité	73
III.3. Analyse statistique des résultats	75
III.3.1. Etude de la relation de température du corps et de l'environnement avec les stades de décomposition	75

III.3.1.1. Analyse uni-variée	75
III.3.2. Etude de la composition des Diptères nécrophages	88
III.3.2.1. Analyse uni-variée	88
III.3.2.2. Analyse multi-variées	101
III.1.1. Analyse des résultats d'élevage des mouches nécrophages	103
CHAPITRE IV : DISCUSSION	106
IV.1. Composition faunistique globale des Diptères nécrophages	106
IV.2. Relation de la faune nécrophage avec les stades de décomposition cadavérique	110
IV.3. Modèle de décomposition et leur relation avec la température du milieu et l'activité de la faune nécrophage	111
CONCLUSION GENERALE	115
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	117
ANNEXES	129
RESUME	137

Introduction :

L'entomologie forensique, l'entomologie criminelle, judiciaire, légale ou encore médico-légale (Campobasso et *al.* 2001), est une discipline qui s'intéresse à l'étude des insectes qui colonisent et consomment des substrats nourriciers. Cette discipline permet de fournir des données facilitant les enquêtes médico-légales, répondant aux questions fréquentes quant à l'utilisation des insectes concernés à savoir les insectes nécrophages. Parmi ces questions nous avons le temps écoulé depuis la mort, le mouvement d'un corps d'un endroit à l'autre, la détermination des conditions environnementales auxquelles un corps a été exposé, l'emplacement des sites de blessure traumatique et l'identification des données toxicologiques.

Lorsqu'une personne meurt sans surveillance, les insectes peuvent arriver et coloniser le cadavre remarquablement, peu après la mort (Catts et Goff, 1992; Smith, 1986). En plus de l'âge des premiers colonisateurs, les taxons correctement identifiés et les modes de colonisation sont essentiels pour en déduire des informations précises sur le temps écoulé depuis la mort par preuve entomologique.

Au cours des dernières décennies, il y a eu un intérêt croissant pour la recherche sur la biologie et l'écologie des insectes qui ont un intérêt médico-légales (Tomberlin et *al.*, 2011).

La plupart des études de la relève d'insectes ont été effectuées sur des modèles animaux de toutes sortes, comme les cochons d'Inde (Borzemissza, 1957 in Amendt et *al.*, 2010), les poulets (Hall et Doisy 1993), le lapin (Bourel et *al.*, 1999), l'ours, le cerf et les alligators (Watson et Carlton, 2005), le lézards et le crapauds (Cornaby, 1974 in Byrd et Castner, 2009), les chiens (Reed, 1958 in Amendt et *al.*, 2010), les chats domestiques (Early et Goff, 1986), les rats (Moura et *al.* 1997, Tomberlin et Adler, 1998), et le plus souvent, le porc domestique (Payne 1965, Anderson et VanLaerhoven 1996, Avila et Goff, 1998, Tabor et *al.* 2005, Carvalho et *al.* 2000, Hewardikaram et Goff 1991 in Byrd et Castner, 2009 ; Wyss et Cherix, 2006). Bien qu'il ait eu quelques études utilisant des cadavres humains, (Rodriguez et Bass, 1985), généralement, leur utilisation pour la recherche sur le terrain est restrictive, pour plusieurs raisons essentiellement d'ordre éthique.

Si parmi les insectes Diptères, certaines espèces sont informatives concernant le cadre forensique, il n'en reste pas moins que d'autres espèces appartenant à l'ordre des coléoptères, hyménoptères et lépidoptères sont également associés aux corps en décomposition, mais interviennent plus tardivement et sont donc moins fréquentes. La majorité des coléoptères et

des hyménoptères sont nécrophiles. Il s'agit de prédateurs attirés sur les cadavres par la présence de nombreuses proies potentielles. On observe également la présence d'hyménoptères parasitoïdes, qui pondent leurs œufs à l'intérieur des larves ou des pupes de Diptères (genre *Nasonia*) (Byrd et Castner, 2009).

Parmi les insectes, les Diptères nécrophages sont les plus omniprésents dans les écosystèmes anthropiques, leur contribution dépasse largement celle des vertébrés (Wyss et Cherix, 2006). Ils ont en effet un rôle important dans le domaine médical, lequel se rapporte à leur participation dans la décomposition des cadavres, le parasitisme facultatif des tissus des vertébrés et la transmission mécanique de divers micro-organismes pathogènes (Norris, 1965; Greenberg 1973; Hall et Wall, 1995). Parmi les Diptères nécrophages seules les mouches le sont, elles sont généralement les premières à visiter à l'état adulte un cadavre, leur arrivée précoce sur ce dernier, dans les minutes qui suivent la mort en font de redoutables bio-indicateurs quant au moment du décès mais aussi les principaux décomposeurs massifs d'un cadavre, en tant que larves (Byrd et Castner 2009). La fiabilité des expertises médico-légales et entomologiques sont fortement associés certes, mais dépend de l'identification appropriée du matériel collecté.

Les insectes nécrophages et leur succession sur un substrat peuvent varier en fonction des différentes régions biogéographiques et dans différents habitats écologiques (Amendt et *al.*, 2000, Campobasso et *al.*, 2001). C'est dans ce contexte que nous avons jugé intéressant d'apporter de nouvelles informations concernant la faune de Diptères nécrophages en Algérie, jusque là méconnue. Notre objectif est d'obtenir des données qui pourraient être utilisées pour les services concernés en l'occurrence la police scientifique. Les données recueillies sur les insectes nécrophages pourraient en effet, servir de support aux enquêtes judiciaires pour l'analyse d'un cadavre dont la mort est suspecte.

Pour mener à terme notre objectif, nous nous avons structuré notre étude autour de cinq chapitres.

Le premier chapitre est une synthèse bibliographique qui retrace par un aperçu historique sur l'étude des insectes nécrophages liés aux cadavres en passant par l'état actuel des connaissances concernant les principaux groupes d'insectes nécrophages présents de par le monde. Des informations particulières sur les Diptères nécrophages, lesquels constituent l'objet de notre travail, sont également rapportées. Il s'agit des critères généraux des différentes

Introduction

familles, la répartition, la classification, la bioécologie des différents stades et leurs rôles dans la décomposition cadavérique.

Dans le second chapitre, nous présentons le matériel et les méthodes, qui mettent en relief notre site d'étude ainsi que les modèles animaux utilisés pour nos expérimentations. La méthode d'échantillonnage sur les substrats, leurs traitements et l'identification des spécimens récoltés, sont également rapportées.

Le troisième chapitre concerne les résultats des expériences réalisés sur terrain et au laboratoire autrement dit, l'inventaire faunistique des Diptères récoltés ainsi que l'élevage de certaines espèces appartenant à ce groupe. Ces résultats sont soutenus par des indices écologiques et par des analyses statistiques uni-variées (ANOVA, *p.p.d.s*) et multi-variées (analyse hiérarchiques).

Le quatrième chapitre est consacré à la discussion qui permet de synthétiser les apports de la recherche effectuée par rapport aux études précédemment menées dans d'autres régions du monde.

Enfin, une conclusion générale met l'accent sur les perspectives et les travaux qui restent à menés par de nouvelles voies d'approche liées aux expertises médico-légale.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique. Ecosystème autour d'un organisme mort

I.1. Rôle de la science légale dans les enquêtes criminelles :

« La Science légale n'est plus sur les franges des enquêtes criminelles, elle permet de résoudre les cas qui demeurent autrement, non résolus. La Science légale est d'identifier le coupable avec une certitude qui protège par la même, l'innocent» John Ashcroft.

La science légale est utilisée pour résoudre des crimes. En fait, elle joue un rôle dans la résolution des cas impliquant à la fois les questions civiles et pénales, en particulier celles de nature violente.

Sans surprise, les crimes ont aussi devenus plus sophistiqués, avec les criminels d'aujourd'hui, se fondant sur les aspects des sciences de menacer la sécurité individuelle et nationale. Il faut regarder plus loin que le bioterrorisme pour voir un lien clair entre la connaissance scientifique et l'activité criminelle violente. Une attention particulière est accordée à la compréhension de la méthode scientifique, car il sert comme étant un principe de base pour l'étude de phénomènes naturels et dans les analyses médico-légales (Rivets et Dahlem, 2014).

La science légale est devenue un large terme, s'écartant légèrement de la définition simple donnée, c'est l'application de la science à la loi. Le terme « légal » est défini comme concernant voire relié à la loi, alors que la « science » est l'étude du monde physique et naturel systématiquement faits et principes disposés qui sont rigoureusement examinés par expérimentation. Une fois utilisé ensemble les deux termes rapportent une discipline laquelle aborde des questions reliées à la loi par l'application des faits et des principes examinés au moyen d'une-expérimentation rigoureuse.

Comme mentionné précédemment, la science légale, représente un vaste choix de domaines médicaux, scientifiques (naturel et appliqué) et sociaux. Dès lors, la science légale des approches modernes et plus larges : « l'utilisation de la connaissance scientifique et des technologies dans les sujets civils et criminels, y compris la résolution de cas, l'application des lois et la sécurité nationale. » Le terme criminalistique est utilisé généralement pour rétrécir cette plus large définition dans les activités spécifiques d'un crime ou d'un laboratoire légal (Gaensslen et al., 2007). La plupart des aspects appliquent la science à la loi, y compris ceux liés à l'entomologie légale, tombé sous l'égide de la criminalistique.

L'utilisation du terme « forensique » comme substitut pour « légal » signifiait à l'origine, l'étude ou l'art d'un débat ou d'argumentation. Bien que « débat » entre les avocats à un rôle défini dans la salle d'audience, cela signifie se rapportant à la loi. Cependant, de l'opinion publique, "forensique" implique la science médico-légale. En fait, une recherche de ce terme sur l'internet ou dans certains dictionnaires indique que « forensique » fait référence à la loi. Le terme forensique est rapidement devenu un terme accepté pour la science médico-légale (Rivets et Dahlem, 2014).

I.2. Historique de l'entomologie médico-légale :

Jusqu'au XVIIème siècle, on croyait que l'origine des asticots sur un cadavre était due à la génération spontanée ou plus simplement au corps lui même. C'est seulement en 1668 que Francisco Redi démontra que les larves provenaient d'œufs déposés par des mouches.

Les insectes nécrophages ont été utilisés dès le XIIIème siècle en chine dans des enquêtes judiciaires. Cette utilisation fait suite à la découverte d'un cadavre dans une rizière. Des suspects furent convoqués, avec leurs outils de fauchage à la main. Dès lors, des Diptères de la famille des Calliphoridae étaient attirés par des odeurs de sang sur la faucille d'un des agriculteurs suspect, qui passa alors aux aveux (Benecke, 2001; Amendt *et al.*, 2004; Wyss et Cherix, 2006; Gennard, 2007; Frederickx *et al.*, 2010).

Et ce n'est qu'en 1850, que Bergeret utilisa pour la première fois l'application de l'entomologie. Il permit à un couple d'être disculpé de la mort d'un enfant dont les restes avaient été découverts, dans la cheminée de leur nouvelle maison. En effet, suite à l'étude de la succession des espèces nécrophages, Bergeret prouva que l'enfant était mort deux ans avant que le couple ne s'installe dans leur demeure (Benecke, 2001; Gennard, 2007 ; Frederickx *et al.*, 2010).

Quelques années plus tard, en 1894 Mégnin publia un ouvrage « *La faune des cadavres : Application de l'entomologie à la médecine légale* », on y trouve pour la première fois le terme: entomologie médico-légale dans lequel il décrit huit vagues d'insectes qui se suivent (Frederickx *et al.*, 2011). Ce n'est qu'au XXème siècle, que l'entomologie forensique fut reconnue comme une science criminelle à part entière (Charabidzé et Bourel, 2007). Leclercq contribua à l'amélioration des connaissances de la biologie des insectes nécrophages avec son livre intitulé « *Entomologie et Médecine Légale, Datation de la mort* » (Leclercq, 2009).

Vers la fin du XXème siècle des protocoles de prélèvements d'insectes sur une scène de crime (Lucas, 2011 ; Charabidzé, 2012) ont été publiés et le premier guide de terrain intitulé « *Entomology and Death : A Procedural Guide* » est proposé par Catts et Haskell (1990).

Au cours des dernières années, un regain d'intérêt pour l'enquête médico-légale par des entomologistes a donné lieu à un certain nombre de commentaires, résumant cet important domaine dans les enquêtes criminelles (Miller et Naples, 2002). Depuis une dizaine d'années, plusieurs ouvrages d'intérêt ont également fait leur apparition (Greenberg et Kunich, 2005 in Frederickx et al., 2010 ; Wyss & Cherix, 2006 ; Gennard, 2007 ; Byrd et Castner, 2000, 2009 in Frederickx et al., 2010 ; Amendt et al., 2010 in Frederickx et al., 2010).

Cependant, assez rapidement apparaissent quelques critiques, de nombreux spécialistes ayant pu constater la variabilité des processus en cause et la possibilité de superposition des escouades. L'idée fondamentale de l'utilisation de la température pour estimer la date de ponte des insectes sur un corps serait apparue au Canada en 1897 (Wyss et Cherix 2006).

Après une période d'oubli durant la première partie du 20e siècle, l'entomologie forensique a connu un regain de vigueur. Dans les années 1970, Marcel Leclercq, médecin légiste et entomologiste Belge, repris les travaux de Megnin, développa la méthode et la popularisa notamment grâce à son livre "Entomologie et médecine légale : datation de la mort" (Charabidzé et Gosselin, 2014).

Entre la fin des années 1990 et le début des années 2000, de nombreuses équipes ont développé des axes de recherche en entomologie forensique dans le but de réaliser, à court ou moyen terme, des expertises forensiques.

Au Etats Unis cette discipline est particulièrement bien implantée, où son utilisation dans le cadre d'affaires criminelles est quasi-systématique (Wyss et Cherix, 2006). En France se crée au sein de l'IRCGN (Institut de Recherche Criminelle de la Gendarmerie Nationale) un laboratoire spécialisé en entomologie forensique, suivi de près par le développement de cette nouvelle compétence dans le laboratoire de Microtraces en Belgique (Institut National de Criminalistique et de Criminologie, INCC). La diversité des structures portant l'entomologie forensique est bien visible dès cette époque.

Outre les pays européens, le continent africain commence à développer des programmes en entomologie forensique (fig.1). On assiste en effet depuis quelques années à la création en

Afrique de cellules spécialisées. Ce développement se fait souvent avec le soutien technique et scientifique de laboratoires déjà établis. Ainsi, la cellule d'entomologie forensique du laboratoire de la gendarmerie royale marocaine a été créée en partenariat avec le département d'entomologie médico-légale de l'IRCGN. De même, des officiers algériens ont été formés au sein de l'INCC de Bruxelles avant la mise en place de leur propre laboratoire à Alger. D'autres pays africains (Benin, Cameroun) développent actuellement des projets de recherche en entomologie forensique, mais ne réalisent pas encore d'expertises missionnées (datations sur ordre de justice) (Charabidzé et Gosselin, 2014).

I.3. Rôle et biologie des insectes en entomologie forensique :

I.3.1. Processus de décomposition d'un corps :

Un cadavre, en se décomposant, va attirer une grande diversité d'insectes. Ce sont plus précisément les odeurs émises par le cadavre (et/ou ses hôtes) au cours de sa décomposition qui sont responsables de cette colonisation entomologique *post mortem*. La décomposition d'un corps comporte une série de processus dynamiques qui vont entraîner des changements biologique, chimiques et physiques au niveau du cadavre (Anderson, 2001). Hormis la décomposition biologique du corps par des microorganismes (bactéries, champignons saprophytes), des Arthropodes (dont les insectes) et sa destruction par les vertébrés (mammifères, oiseaux) (Marchenko, 2001).

Les entomologistes forensiques divisent plus ou moins arbitrairement le processus de décomposition en plusieurs stades ou phases (Anderson et VanLaerhoven, 1996 ; Galloway, 1997, Goff, 2009). On distingue classiquement quatre stades de décompositions (Fig.2).

I.3.1.1. Le stade frais :

Ce stade prend place dès la mort de l'individu jusqu'à un maximum d'une semaine après le décès (Galloway, 1997). Peu de temps après la mort, on note l'existence de certains changements de nature physique, chimique et biologique et dans l'apparence du corps en plus du refroidissement général du corps. Les premiers organismes qui arrivent sont les mouches (*Calliphoridae*) (Dekeirsschieter et al., 2014).

I.3.1.2. Le Stade de gonflement :

Ce stade débute lorsque les gaz de putréfaction commencent à s'accumuler dans le corps et il en résulte un aspect gonflé de ce dernier (Anderson, 1996). En effet, la diminution en oxygène

amorcée à la mort de l'individu s'intensifie et le corps devient un environnement idéal pour les micro-organismes anaérobies (Carter *et al.*, 2007). Ces derniers transforment les sucres, lipides et protéines en acides organiques et en gaz ce qui provoque un gonflement du corps. La ventilation de l'organisme continue à cause de l'activité bactérienne et c'est peut-être la phase la plus facile à distinguer. Initialement l'abdomen gonfle mais plus tard tout le corps devient comme un ballon étiré d'air (Gennard, 2007).

I.3.1.3. Stade de décomposition (active/avancée) :

Certains auteurs distinguent plusieurs stades de décomposition mais l'utilité de ces stades est incertaine. Différentes parties d'un même corps sont mises à des rythmes différents de décroissance et la décomposition elle-même est un processus progressif plutôt qu'une série d'événements distincts (Gunn, 2006).

Lorsque l'organisme entre dans le stade de gonflement, il est dit peut être " en décomposition active " et pendant ce temps les parties molles du corps disparaissent rapidement en raison de l'autolyse et des activités microbiennes, des insectes et autres animaux. Puis le corps s'effondre et les gaz ne sont plus maintenus par la peau. À ce stade, le corps entre dans une phase dite "Avancée", sauf si le corps est momifié, à ce moment là une grande partie de la peau va être perdue (Campobasso *et al.*, 2001).

Au début, Cette étape est reconnaissable par une rupture de la peau du cadavre sous la pression des gaz qui s'échappent à l'extérieur, c'est la putréfaction. Après, se produit la fermentation dont des acides caséiques et butyrique sont générés.

A la fin de ce stade (décomposition avancée), tout ce qui reste de l'organisme est la peau, le cartilage et les os avec certains vestiges de chair dont les intestins. Tout reste de tissu corporel peut être séché. Le plus grand indicateur de cette étape est une augmentation de la présence de Coléoptères et une réduction de la dominance des mouches (Diptères) sur le corps (Gennard, 2007).

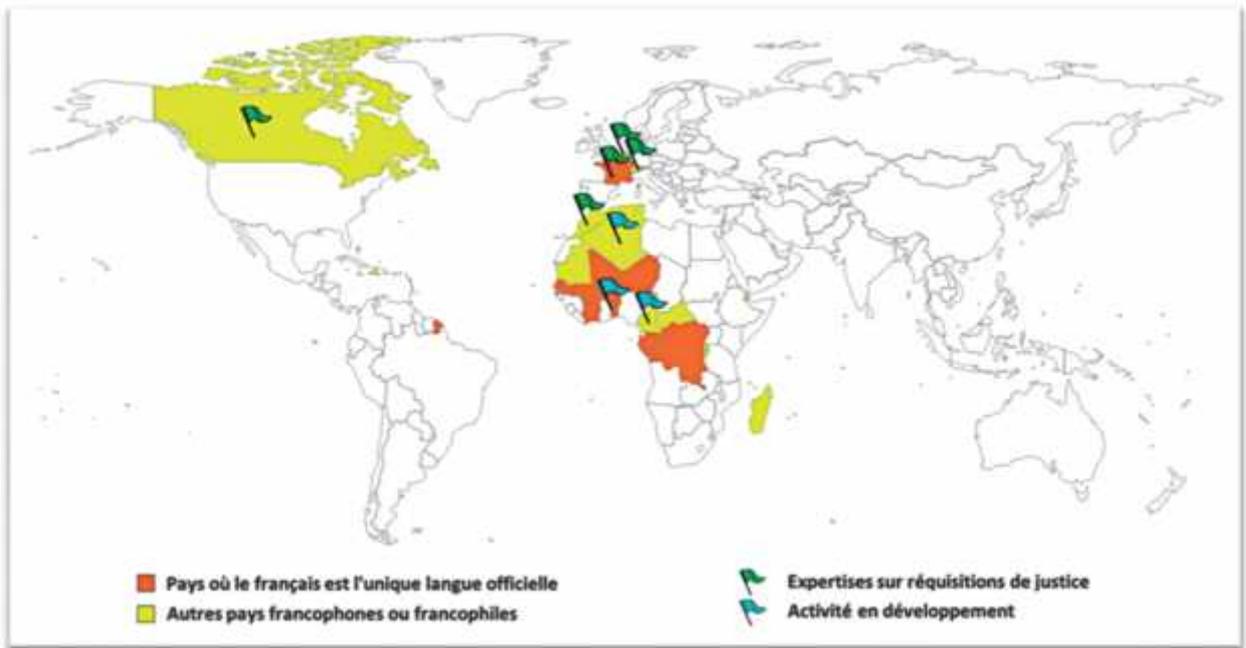


Fig.1 : Répartition des laboratoires d'entomologie forensique dans les pays francophones et francophiles en 2013 (Charabidzé et Gosselin, 2014)



Fig.2 : Stades de décomposition d'une carcasse de vertébrés (cochon domestique, *Sus scrofa*) exposée à l'air libre (Dekeirsschieter et al., 2014).

I.3.1.4. Stade de squelettisation :

A ce stade, la décomposition des tissus mous est terminée. Désormais, il ne reste plus que les os (Gunn, 2006). Il peut également rester des tissus aux points d'attachement des ligaments et des muscles comme le long de la colonne vertébrale ou au niveau de l'articulation des os longs (Galloway, 1997). Ces derniers vont se dégrader petit à petit pour ne laisser que les os (Gunn, 2006).

Cependant, ces phases de dégradation du corps doivent être interprétées comme étant une séquence de phénomènes qui se superposent et se combinent et non comme étant des stades clairement identifiables les uns des autres. En effet, il n'y a pas de distinction précise entre la fin d'un stade et le début du suivant (Campobasso *et al.*, 2001 ; Goff, 2009).

I.3.2. Paramètres influençant la décomposition d'un corps

La décomposition d'un corps et sa colonisation par les insectes sont deux phénomènes intimement liés et sont influencés par de nombreux facteurs intrinsèques et extrinsèques au cadavre (Campobasso *et al.*, 2001).

Les facteurs intrinsèques, directement liés à la personne décédée, sont l'âge, la masse corporelle, la cause du décès (drogues, infection), l'hygiène corporelle, l'intégrité du corps (blessures, plaies) et la présence de vêtements (Campobasso *et al.*, 2001). Parmi les facteurs externes, le facteur le plus important est la zone biogéoclimatique incluant l'habitat, la végétation, le type de sol et les conditions météorologiques (température, vent, humidité atmosphérique) du lieu où se situe la dépouille (Anderson, 2001 ; Campobasso *et al.*, 2001).

D'autres paramètres ont une influence significative sur la vitesse de décomposition d'un corps; on peut citer la saison, l'emplacement du corps (ombragé et ensoleillé) et enfin l'accessibilité du corps aux organismes vivants qu'ils soient mammifères (animaux domestiques ou sauvages) ou insectes (Anderson, 2001 ; Campobasso *et al.*, 2001).

De plus, les processus de décomposition et la faune des cadavres varient fortement en fonction du lieu où se trouve le cadavre. Les corps enterrés ou submergés subissent des évolutions différentes des corps laissés à l'air libre (Anderson, 2001).

Parmi tous ces facteurs, deux sont prépondérants dans la décomposition d'un corps, il s'agit de la température ambiante et de l'accessibilité du corps aux insectes (Campobasso *et al.*, 2001).

I.4. Biologie, Taxonomie et histoire des insectes associés aux cadavres

I.4.1. Groupes écologiques

Au sein des écosystèmes terrestres, les insectes sont généralement les premiers organismes à arriver sur le corps peu après la mort et le colonisent selon une séquence plus ou moins prédictible (Smith 1986 ; Anderson 2001). Les insectes utilisent le micro-habitat créé par le cadavre comme un substrat nourricier, un site de pontes (reproduction), un refuge ou encore comme un territoire de chasse. En fonction de leurs caractéristiques écologiques, on distingue quatre groupes écologiques autour d'un cadavre, que nous allons détailler (Leclercq, 1978 ; Smith 1986 ; Wyss et Cherix 2006). Une cinquième catégorie est parfois citée, il s'agit des espèces dites accidentelles dont la présence sur le corps est le fait du hasard (Arnaldos et *al.*, 2005).

I.4.1.1. Les espèces nécrophages : se nourrissent des tissus cadavériques et/ou des liquides de décomposition. On peut citer parmi cette catégorie les Diptères appartenant aux familles des Calliphoridae et des Sarcophagidae, mais également des Coléoptères des familles des Silphidae et des Dermestidae (Dekeirsschieter et *al.*, 2014).

I.4.1.2. Les espèces nécrophiles : Ce sont les prédateurs et parasites des espèces nécrophages (Leclercq, 1996 ; Wyss et Cherix, 2006). Elles se nourrissent donc des autres insectes ou arthropodes présents sur le cadavre, principalement des oeufs et des larves. On rencontre principalement des Coléoptères (Silphidae, Histeridae, Staphylinidae, Dermestidae, Cleridae et Nitidulidae ainsi que les larves de ces Coléoptères qui se nourrissent des larves de Diptères) mais aussi des Diptères (Calliphoridae et Stratomyidae) et des Acariens (Leclercq, 1996 et Amendt *et al.*, 2004 ; Wyss et Cherix, 2006). On note également la présence d'Hyménoptères parasitoïdes de larves et de pupes de Diptères nécrophages (Wyss et Cherix, 2006). Ce groupe contient également des espèces dites « *schizophagous* » dont les larves se nourrissent du cadavre en premier mais dont les stades larvaires les plus avancés sont prédateurs comme par exemple : les larves de Calliphoridae et plus précisément les *Chrysomya sp.* (Amendt *et al.*, 2004 ; Wyss et Cherix, 2006).

I.4.1.3. Les espèces omnivores : Elles se nourrissent aussi bien du cadavre que de ses habitants (nécrophages et nécrophiles). Des Hyménoptères comme les guêpes et fourmis ainsi que certains Coléoptères font partie de ce groupe (Leclercq, 1996 ; Amendt *et al.*, 2004 ; Arnaldos *et al.*, 2005 ; Wyss et Cherix, 2006).

I.4.1.4. Les espèces opportunistes : Les espèces opportunistes perçoivent la présence du cadavre comme une extension de leur habitat. Elles utilisent le cadavre comme une annexe de leur biotope afin de s'abriter, pour se réchauffer, pour hiberner et parfois même pour se nourrir (Leclercq et Vestraeten, 1992). Elles sont originaires de la végétation environnante ou de la pédofaune et peuvent exceptionnellement être prédatrices des espèces nécrophages (Campobasso et *al.*, 2001). On y dénombre des araignées, des alemboles, des mille-pattes, des papillons mais aussi des acariens qui se nourrissent des moisissures et champignons qui peuvent se développer sur le corps en décomposition (Campobasso et *al.* 2001, Wyss et Cherix, 2006).

I.4.2. Biologie des insectes nécrophages

Les insectes sont les plus nombreux organismes sur le globe terrestre. Alors que moins d'un million d'espèces ont été décrites et nommées, les recherches indiquent que plus de 3 à 30 millions peuvent exister réellement. Ils se retrouvent dans presque tous les habitats terrestres et dans la plupart des habitats aquatiques ainsi, à l'exception de l'eau salée en tant que groupe, les insectes ont des ailes, une caractéristique qui les distingue de tous les autres invertébrés. Cela leur permet de parcourir des distances considérables et lorsqu'ils manquent de nourriture, ils tentent de localiser un habitat convenable pour pondre leurs œufs. C'est un facteur extrêmement important pour les espèces d'importance forensique, qui doivent rapidement localiser et utiliser des ressources temporaires comme charogne, y compris des cadavres humains (Castner, 2010).

Les insectes sont généralement les premiers organismes à arriver sur le corps peu après la mort et le colonisent selon une séquence plus ou moins prédictible (Smith 1986 ; Anderson, 2001). En effet, ces derniers sont équipés d'un système sensoriel très réceptif aux molécules odorantes de leur environnement. Grâce à leurs organes olfactifs (antennes et sensilles olfactives), les insectes sarcosaprophages sont parfaitement adaptés à la détection de cadavres humains ou de carcasses animales. La décomposition du corps va entraîner des changements physiques et biochimiques importants, celui-ci va émettre des odeurs plus attractives pour certaines espèces et d'autres moins attractives (Leclercq, 1978 ; Anderson 2001 ; Dekeirsschieter *et al.*, 2009).

Deux grands groupes d'insectes sont attirés par les cadavres et peuvent fournir la majorité des renseignements tirés d'enquêtes médico-légales. Ce sont les Coléoptères (Ordre des Coleoptera) et les mouches (ordre des Diptera). Les deux groupes sont diversifiés, bien que les Coléoptères ont beaucoup plus d'espèces connues de tous les groupes d'animaux, d'insectes

ou autre être vivant. Il y a environ 350 000 espèces décrites dans le monde, les estimations du total des espèces de Coléoptères dans le monde sont au moins 750,000, et ils composent actuellement plus d'un tiers de toutes les espèces connues d'insectes. Les Diptères dépassent les 150 000 espèces connues aujourd'hui (McGavin, 2001); les mouches sont beaucoup moins nombreuses, avec seulement 86 000 espèces décrites dans le monde (Castner, 2010). Les espèces qui impliquées dans la consommation de cadavres se réduisent à quelques dizaine (Byrd et Castner 2010).

De nombreux autres groupes d'arthropodes sont trouvés en association avec des organismes, mais ces derniers sont typiquement opportunistes, en profitant des circonstances. Ils sont constitués par les détritivores qui se nourrissent de matières en décomposition et les prédateurs des espèces qui sont attirées pour coloniser les cadavres.

Les Diptères et les Coléoptères ont des structures extérieures notablement distinctives et se développent de façon différente.

I.4.2.1. Les Diptères :

Les très nombreuses espèces que l'on appelle communément mouches, moustiques et moucherons forment l'ordre des Diptères. Cet ordre de la classe des insectes est caractérisé par la présence d'une seule et unique paire d'ailes, les ailes postérieures étant réduites en balanciers ou haltères (Chinery, 2005). Les Diptères constituent un ordre d'insectes assez récent (d'un point de vue évolutif) qui a conquis une grande variété de biotopes et de niches écologiques. Non seulement les mouches jouent un rôle important dans l'élimination des excréments mais, elles sont aussi capables d'éliminer les cadavres d'animaux (Wyss et Cherix, 2006).

Les Diptères sont principalement divisés en deux sous ordres : les Nématocères, les Brachycères (dont les Orthorrhaphes et les Cyclorrhaphes). C'est principalement dans les Cyclorrhaphes qu'on retrouve les Diptères nécrophages (Fig.3) (Chinery, 2005). Les Brachycères adultes présentent des antennes courtes et trapues à leur base. Les larves sont hémicéphales ou acéphales (capsule céphalique très réduite) et les mandibules sont présentes sous forme de crochets mobiles ventraux insérés verticalement. Les Schizophores présentent une cicatrice frontale correspondant à la trace du ptilinum, un organe spécialisé que l'insecte gonfle pour briser la puppe. Cette suture est absente chez les Aschizes. Enfin, les Schizophores sont divisés en Acalyptères et Calyptères : ces derniers présentent des cuillerons thoraciques bien développés, contrairement aux Acalyptères (Charabidzé, 2008).

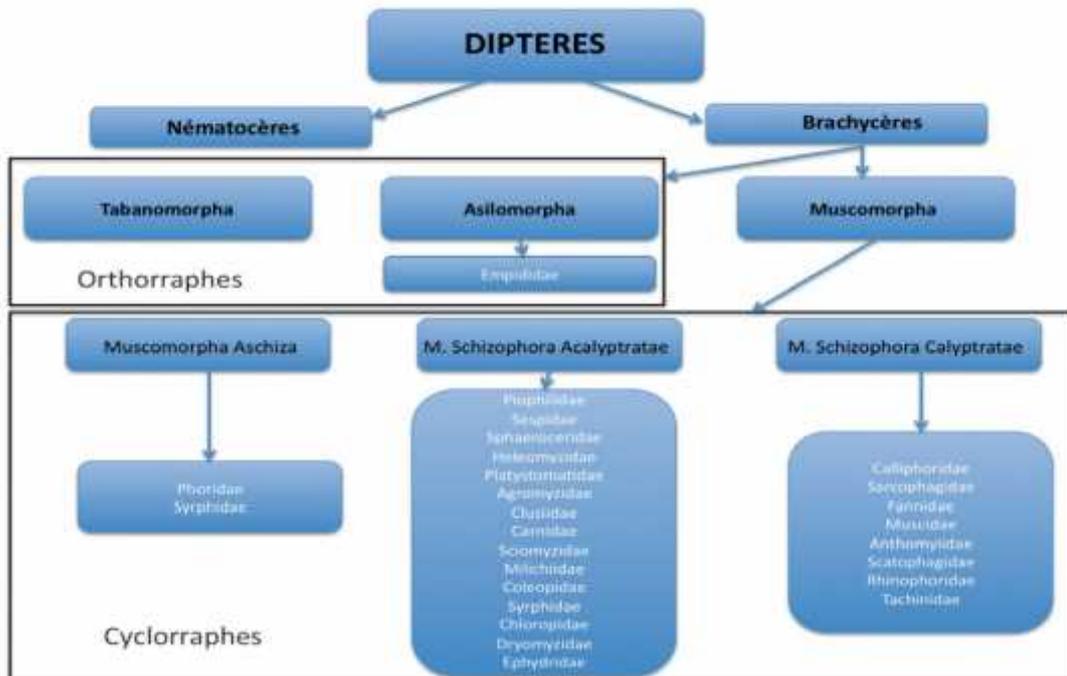


Fig.3 : Classification actuelle des Diptères (Yeates et Wiegmann, 1999)

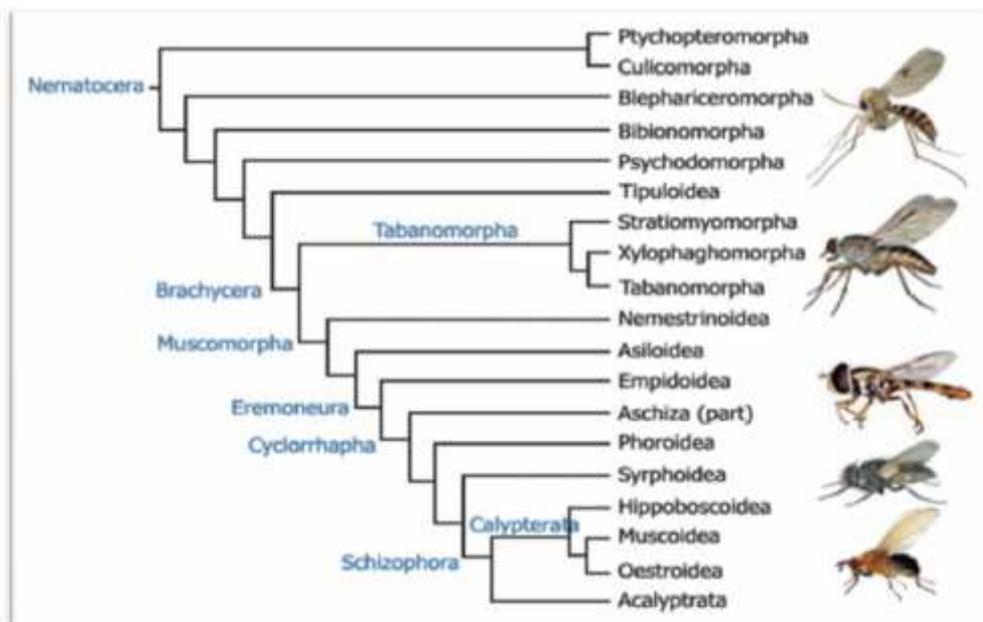


Fig.4 : Classification des familles de Diptères nécrophages (Wyss et Cherix, 2014)

I.4.2.2. Les Coléoptères :

Ils sont caractérisés par la présence d'une paire d'ailes membraneuses protégées par une paire d'ailes durcies en élytres. Ces élytres protègent la totalité des ailes postérieures mais il est apparu une diminution de la longueur des élytres chez certaines famille (Staphylinidae). Mesurant de 0.1 à 180 mm pour les plus grands et la taille moyenne des Coéoptères est inférieure à 15mm (Wyss et Cherix, 2006). Sur la base d'études moléculaires et morphologiques, les Coléoptères sont souvent classés en quatre grands groupes à savoir les Archostémates, les Mycophages, les Adéphages (qui sont des prédateurs et arborent le plus souvent beaucoup de couleur) et les Polyphages (Gennard, 2007 ; Capinera 2008). Réparties en 166 familles, ce qui représente plus d'un tiers des espèces d'insectes connus.

Leurs régimes alimentaires varient largement. En effet, ils peuvent être prédateurs, détritivores ou végétariens, avec peu d'espèces parasitaires. Les larves sont appelés les vers blancs et ils varient largement d'apparence (Fig.4). Toutefois, toutes les larves ont une tête perceptible et possèdent six pattes. Les Coléoptères sont connus comme étant charognards et décomposeurs, ils peuvent attaquer les plantes, agir sur des aliments entreposés, et pour certaines espèces servir comme pollinisateurs de plantes (Byrd et Castner 2010).

Les principales familles de Coléoptères ayant un intérêt forensique (Fig.6) sont les Dermestidae, les Silphidae, les Staphylinidae, les Cleridae, les Histeridae, les Nitidulidae et les Geotrupidae (Wyss et Cherix, 2006).



Fig.5 : Les larves des Coléoptères varient en taille et en forme en fonction de la famille et de l'espèce. (de gauche à droite) les familles de Scarabaeidae, Silphidae, Staphylinidae, et Dermestidae (Byrd et Castner 2010).



Fig.6 : Principaux types de Coléoptères nécrophages. (a) Dermastidae; (b) Staphylinidae ; (c) Histeridae ; (d) Silphidae (Byrd et Castner 2010)

I.5. Les Diptères nécrophages :

I.5.1. Les principales familles de Diptères nécrophages :

I.5.1.1. Calliphoridae :

Cette famille contient les mouches communément observée autour des cadavres et des excréments, pendant les mois chauds d'été. C'est un très grand groupe de mouches de taille moyenne à grande (4 à 16 mm), que l'on peut considérer comme robustes avec un vol bruyant et rapide. De nombreuses espèces de cette famille possèdent des reflets bleus ou vert métallique, parfois argentés avec une abondante pilosité dorée (genre *Pollenia*). La tête et le corps possèdent de longues soies, avec un dimorphisme sexuel au niveau des yeux, où ceux des mâles se touchent alors que ceux des femelles sont nettement séparés. La famille des Calliphoridae contient plus de 1 000 espèces et les membres de cette famille peuvent être trouvés dans le monde entier (Byrd et Castner, 2010).

Plusieurs espèces se développent sur des cadavres animaux et humains et représentent un grand intérêt en entomologie forensique. La grande majorité des espèces sont ovipares. Certaines larves sont des agents de myiases chez les Vertébrés ou alors nécrophages et parfois facultativement agents de myiases chez le mouton (principalement *Lucilia sericata*, *Phormia* et *Protophormia*), parasites de vers de terre et autres invertébrés (*Bellardia*, *Onesia*, *Pollenia*, *Angioneura*). Il est intéressant de noter que le genre *Protocalliphora* renferme des espèces parasites d'oiseaux, se nourrissant du sang des jeunes oisillons. C'est dans cette famille que l'on trouve les espèces les plus importantes pour la pratique de l'entomologie forensique. Les mouches nécrophages sont représentées par 6 genres, soit *Calliphora*, *Chrysomya*, *Lucilia*, *Cynomya*, *Protophormia* et *Phormia* (fig.7). Dans chaque genre il y a une ou plusieurs espèces nécrophages dont les larves peuvent effectuer leur cycle complet sur des cadavres d'animaux ou humains (Wyss et Cherix, 2014).

Les espèces de cette famille pondent des œufs lesquels éclosent pour donner naissance à des larves (fig.8-a) qui peuvent être hygrophiles, ubiquistes, lucifuges (qui fuient de la lumière) et créophages (qui se nourrissent de chairs, de tissus animaux morts). Elles passent par trois stades dont la détermination de chacun d'eux chez les Diptères Calliphoridae est relativement facile. Il suffit d'observer la partie postérieure de la larve où se trouvent deux structures circulaires (peritrème, sclérite annulaire qui entoure le ou les stigmates) à l'intérieur desquelles on compte un, deux ou trois stigmates respiratoires correspondant aux stades larvaires I, II ou III (Fig.9) (Wyss et Cherix, 2006). Puis se transforment en pupes (Fig.8-b).

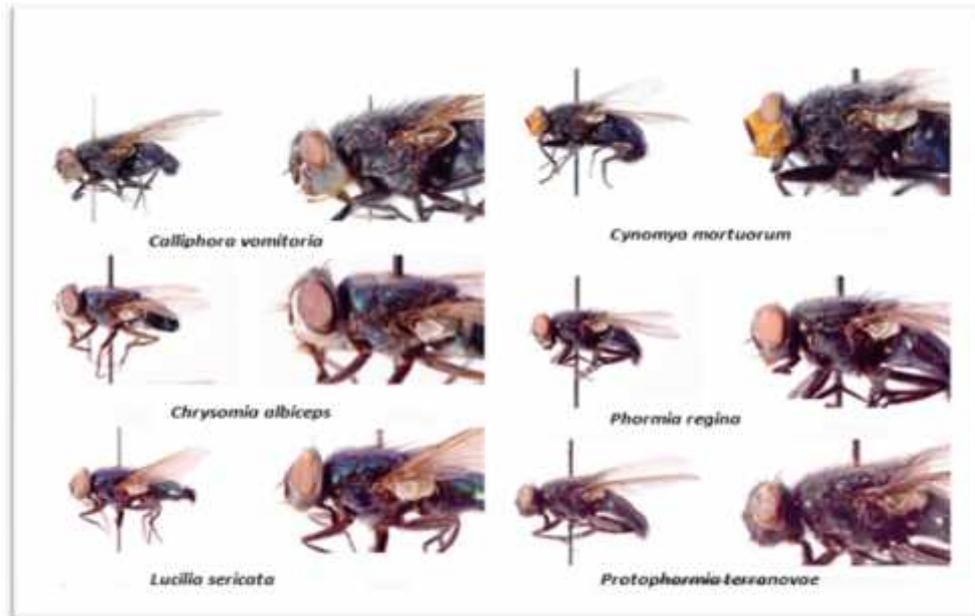


Fig. 7 : Les genres de Calliphoridae les plus importants pour la pratique de l'entomologie forensique (Wyss et Cherix, 2014)

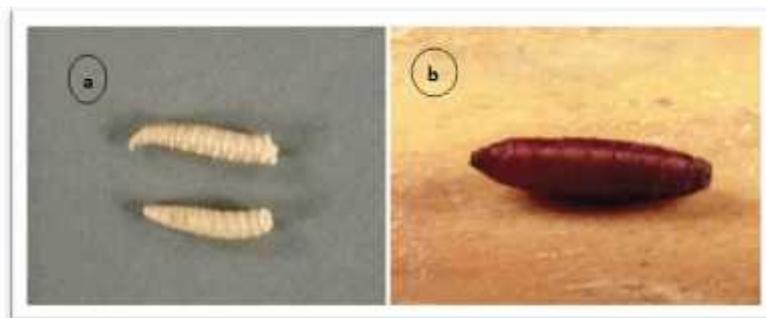


Fig. 8 : Stades de développement des Calliphoridae (a) Larves, (b) pupa (Byrd et Castner, 2010)

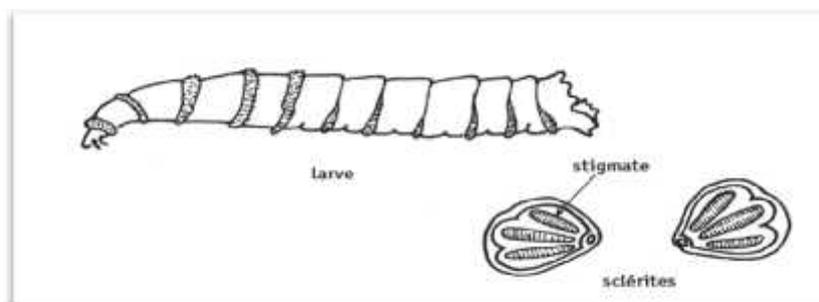


Fig. 9 : Larve de Diptère Calliphoridae et détail des deux structures circulaires (partie postérieure de la larve à droite) avec les sclérites qui entourent les stigmates. Dans ce cas 3 stigmates donc stade larvaire 3.

I.5.1.2. Sarcophagidae

Les Sarcophagidae sont des mouches assez robustes et relativement grandes dont la taille des adultes varie de 3-22 mm de longueur. La plupart des espèces sont grises, voire gris-noir, avec un dessin en damier bien particulier et reconnaissable sur l'abdomen (Fig.10-1.a), aucune espèce ne présente des reflets métalliques bleus ou verts. L'arista est souvent nue, au moins sur sa partie apicale, Il s'agit sans doute d'une des familles dont les représentants sont les plus difficiles à identifier. Cela a conduit depuis longtemps à de nombreuses erreurs d'identification et des citations erronées. Dans cette famille, le mode de vie des larves est très varié. On trouve des parasites de larves d'Hyménoptères (sphecides, pompilidés et apoïdes), des larves coprophages (se nourrissant d'excréments), des parasites de Coléoptères, Lépidoptères (chenilles et nymphes), Hémiptères, mille-pattes, vers de terre, limaces, ainsi que des larves nécrophages (Wyss et Cherix, 2014).

Les larves de la famille des Sarcophagidae se caractérisent par une forme de tonneau avec leurs stigmates postérieurs coulés dans un creux (Fig.10.1.b). Le bord du segment postérieur a un grand nombre de tubercules. Cela rend cette famille facile à distinguer dans ses stades larvaires. Certains succès ont également été réalisés dans l'identification des espèces de larves de Sarcophagidae, en utilisant des méthodes moléculaires (Zehner et *al.*, 2004 in Gennard, 2007).

I.5.1.3. Piophilidae :

Les mouches de cette famille représentent une petite famille avec seulement 69 espèces que l'on retrouve dans le monde entier avec cependant une plus grande diversité dans les régions tempérées. Les adultes sont bleu métallique ou noir et varient généralement de 2,5mm à 4,5mm de longueur (Fig.10.2.a). On les trouve dans une variété d'habitats qui peuvent inclure la charogne, les déchets humains, des os, de la peau et de la fourrure. Elles sont courantes et généralement associées avec les sources alimentaires riches en protéines (Castner et *al.*, 1995). Les asticots de ces mouches (Fig.10.2.b) peuvent être considérablement plus grands que les adultes et habituellement compris entre 5 et 10 mm de longueur. Ses larves utilisent un comportement de " saut " comme un mécanisme de " fuite " efficace, et il est aussi fréquemment utilisé au cours de la migration des larves. Cependant, ils se déplacent aussi de la manière rampante plus traditionnelle, manifestée par la plupart des larves des Diptères (Hogue, 1993).

I.5.1.4. Fanniidae :

Ces mouches sont communément appelées mouches des latrines. Les Fanniides ont souvent été classées par erreur dans les Muscides. Elles sont considérées aujourd'hui comme une famille à part entière (Matile, 1995). Les représentants de cette famille se distinguent des Muscides par la plus grande courbe sur la veine axillaire (veine 7, la veine la plus proche du calypter supérieur) et l'espèce se caractérise par l'absence de l'angle aigu sur la veine 4, qui atteint le bord de l'aile. *Fannia canicularis* (Linnaeus) (Fig.10.3.a), est une petite mouche abondante dans les maisons car attirée par la lumière. Smith (1986) rapporte que c'est la mouche domestique la plus commune jusqu'en Juillet. Ce sont des mouches de taille petite à moyenne (3 – 9 mm). Les mâles se différencient facilement des femelles, leurs yeux se touchent, alors que ceux des femelles sont très éloignés, particularité que l'on retrouve chez les Calliphoridés.

Les larves se reconnaissent à leur corps aplati portant de nombreuses excroissances sur chaque segment (Fig.10.3.b). Les larves sont saprophages et se nourrissent essentiellement de matière organique en décomposition, le plus souvent d'origine végétale. Néanmoins, quelques espèces sont nécrophages et se développent sur des cadavres humains et animaux. Les adultes se rencontrent fréquemment dans les régions boisées et seules trois espèces présentent un caractère synanthrope (Wyss et Cherix, 2014).

I.5.1.5. Muscidae :

Ces mouches appartiennent à une grande famille qui a une distribution cosmopolite, avec plus de 4000 espèces dans le monde. De nombreuses espèces sont omniprésentes et synanthropiques (trouvées étroitement associées à l'homme). Les Muscidae sont des mouches de petite taille à grande (2-18mm), généralement de couleur terne (fig.10.4.a), il y a un certain nombre d'espèces avec un dimorphisme sexuel au niveau des yeux (Byrd et Castner, 2010). Les larves (fig.10.4.b) sont des asticots cylindriques, plus fins vers l'avant et arrondis en arrière avec des crochets buccaux fusionnés ou étroitement accolés (Wyss et Cherix, 2014).



Fig.10 : Les Principales familles de Diptères nécrophages, (1) Sacophagidae, (2) Piophilidae, (3) Fanniidae, (4) Muscidae , (5) Phoridae , (a) Adulte, (b) Larve (Byrd et Castner, 2010).

I.5.1.6. Phoridae :

Elles sont reconnaissables à la nervation particulière de leurs ailes. Ce sont de petites mouches dont la taille est souvent de l'ordre de quelques millimètres (0.5 – 6 mm) (fig.10.5.a). Selon Disney (1994), 6 espèces ont été trouvées sur des cadavres humains (genres *Megaselia*, *Conicera*, *Triphleba*). Les Phoridés ont une course rapide et saccadée assez caractéristique. Manlove et Disney (2008) ont montré l'intérêt forensique de *Megaselia abdita* durant l'hiver. Quant à *Conicera tibialis*, elle est nommée la mouche des cercueils, car il a été montré que cette espèce peut creuser le sol pour atteindre des cadavres enterrés à des profondeurs variant entre 30 et 100 cm (Martin-Vega et al., 2011). Le principal problème réside dans l'identification des espèces de cette famille.

Les larves sont cylindro-conique (fig.10.4.b) et chaque segment est marqué d'apophyses triangulaires plus ou moins saillantes ou garnies de papilles sensorielles portant ou non des soies. On reconnaît aujourd'hui plus de 3000 espèces à travers le monde (Wyss et Cherix, 2006).

I.5.2. Cycle biologique :

Les Diptères sont des insectes holométaboles et leur développement est dit à métamorphose complète. Le cycle de développement est composé de 4 phases (œuf, larve, puppe et adulte) dont trois stades larvaires (fig.11). La durée de ce cycle dépend des conditions environnementales (hygrométrie, température, etc.) ainsi que de l'espèce. Les œufs sont pondus en masse d'environ 200 unités (oviposition), préférentiellement au niveau des orifices naturels. La phase larvaire est un stade actif durant lequel les individus se nourrissent et se développent. Les larves (asticots) passent par trois stades (L1, L2 et L3) entrecoupés de mues: l'insecte croît, se libérant de sa vieille cuticule (exuvie), ce qui lui permet d'augmenter considérablement sa taille. Hormis la taille, la forme des crochets buccaux ainsi que le nombre de stigmates postérieurs permettent de différencier les stades larvaires. Une fois mature, l'asticot entre en phase pré-puppe et cesse de s'alimenter pour débiter sa métamorphose. La larve achève de consommer les ressources stockées dans son jabot, perd peu à peu de sa masse et sa cuticule commence à se rigidifier. La plupart des Diptères nécrophages vont également changer de comportement et quitter le cadavre pour se nymphoser. Elles recherchent alors un endroit abrité dans le sol ou sous un objet, afin de se protéger des prédateurs. L'insecte se nymphose par un processus de sclérification de sa

cuticule qui se rétrécit et se durcit, créant ainsi une puppe exorâtes pour s'extraire de cette enveloppe (Auberton et *al.*, 2014). Les larves de Diptères nécrophages sont poïkilothermes autrement dit, la durée de leur développement est dépendante de la température extérieure. Ainsi, la durée de développement décroît quand la température augmente donc, plus il fait chaud, plus le développement est rapide.

I.5.3. Attraction chimique et communication :

Le système de signalisation et de détection chimique utilisé par les insectes pour la communication intra- spécifiques et interspécifiques est sans doute la plus raffinée parmi tous les groupes d'animaux. Ce système impressionnant se manifeste dans les insectes par la capacité de détecter des quantités infinies de signaux spécifiques (ensemble de composés chimiques), pour s'orienter et trouver la source d'émission. Pour certaines espèces, le signal chimique peut provenir de relativement près ou encore pour d'autres, la détection survient uniquement après que le produit chimique ait parcouru une longue distance. Les mécanismes pour l'émission de signaux chimiques sont tout aussi impressionnants à celle de la détection ; ainsi, par ce système, plusieurs espèces ont la capacité de communiquer entre eux. La plupart des caractéristiques de ce système hautement efficace sont présentés par les Diptères nécrophages durant la décomposition des cadavres. Ces insectes peuvent détecter divers produits chimiques émanant du cadavre qui reflètent les stades de décomposition, la signalisation de phéromone est utilisé pour la communication intra-spécifique et les composés chimiques sont employées pour modifier le comportement et la physiologie des insectes non liées et même d'autres organismes (Rivets et Dahlem, 2014). L'élément de preuve révélant l'importance des produits chimiques pour la communication est la présence de récepteurs multiples et variés. Autrement dit, une chimio-réception efficace (c'est-à-dire détection des stimuli chimiques dans l'environnement) est absolument essentielle pour tous ces insectes dépendants de signaux chimiques pour communiquer entre eux par des messages (Vickers, 2000).

Les odeurs émises au cours de la décomposition sont constituées d'un très grand nombre de molécules chimiques (Dekeirsschieter et *al.*, 2009 ; LeBlanc et Logan, 2010) et peuvent être perçues très rapidement par les insectes nécrophages alors qu'aucune odeur cadavérique n'est encore perceptible par l'odorat humain (Le Blanc et Logan, 2010). Ces odeurs cadavériques forment un mélange complexe de molécules chimiques volatiles qui changent au cours de la décomposition (Vass et *al.*, 2004 ; Dekeirsschieter et *al.*, 2009 ; Dekeirsschieter et *al.*, 2012).

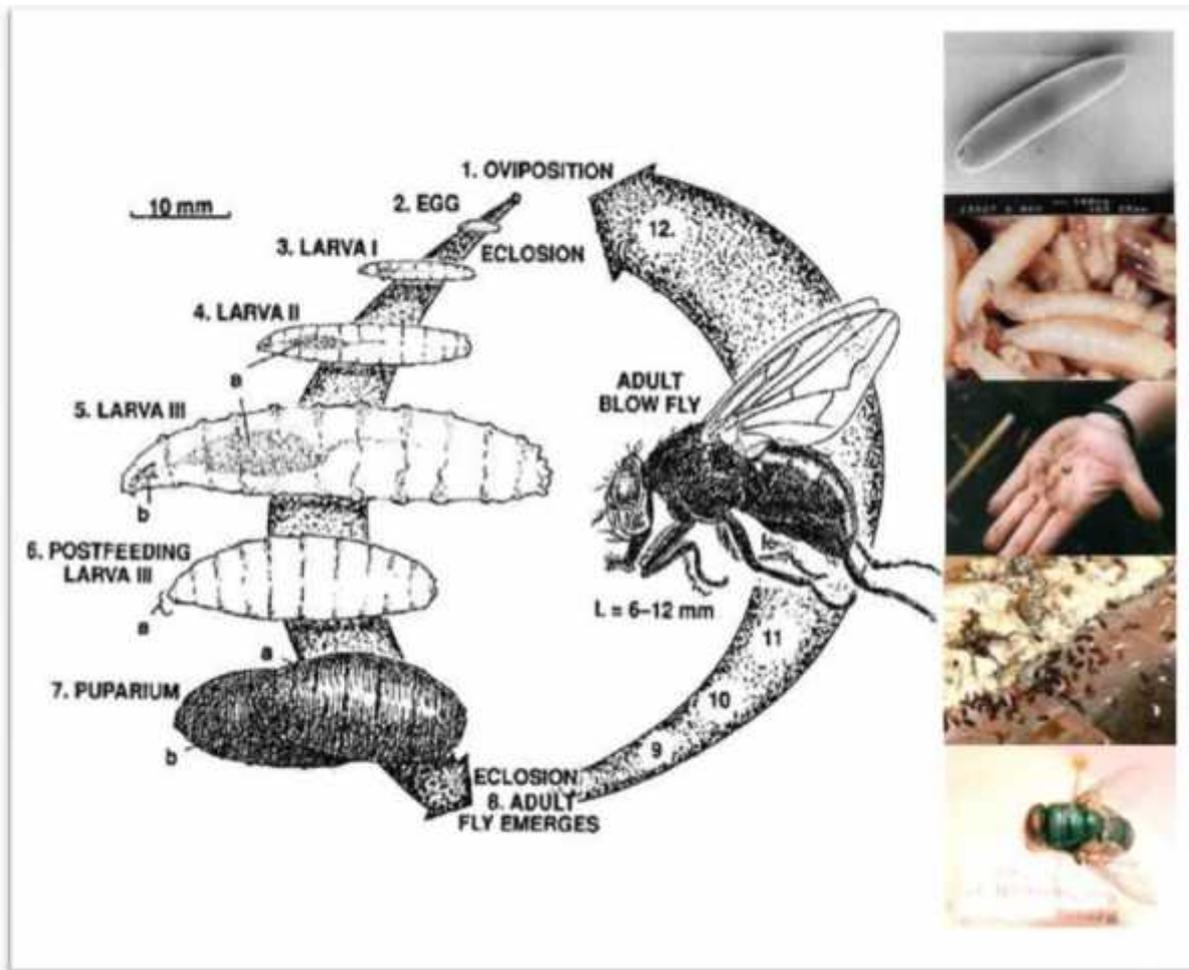


Fig. 11 : Cycle de développement des Diptères nécrophages (Famille des Calliphoridae)
(Dekeirsschieter, 2007)

Ces molécules chimiques sont également appelées composés organiques volatils cadavériques.

Les récepteurs olfactifs sont communément trouvés dans les régions antérieures comme des antennes, la tête, et le prothorax. Ceux utilisés pour le goût peuvent être trouvés sur les pièces buccales, les pattes, les segments abdominaux postérieurs, et même sur l'ovipositeur (Gullan et Cranston, 2010).

Les chimiorécepteurs olfactifs utilisés pour détecter les signaux chimiques trouvés dans l'environnement, sont appelés les semiochimiques (du grec *semeon* signifiant signal). Ce sont des médiateurs chimiques faisant intervenir des organes sensoriels externes et favorisant les interactions entre organismes (Arnaud et al., 2003). Les semiochimiques impliqués dans l'olfaction appartiennent à deux grandes catégories: les phéromones et les allélochimiques (Cassier et al., 2000). Les phéromones interviennent dans les communications intraspécifiques et les allélochimiques interviennent dans les relations interspécifiques (Cassier et al., 2000 ; Arnaud et al., 2003).

Tab 1 : Classification des semiochimiques impliqués dans l'olfaction chez les insectes (Cassier et al. 2000 ; Arnaud et al. 2003 ; Leblanc et Logan 2010).

Allélochimiques interspécifiques	Phéromones intraspécifiques
<p>Allomones Action bénéfique pour l'individu émetteur</p>	<p>Phéromones incitatrices (<i>releasers</i>) Signaux chimiques induisant une modification du comportement. Exemples: phéromones sexuelles, d'alarme, de piste, d'agrégation, sociales</p>
<p>Kairomones Action bénéfique pour l'individu receveur</p>	
<p>Synomones Action bénéfique pour l'individu émetteur et l'individu receveur</p>	<p>Phéromones modificatrices (<i>primers</i>) Signaux chimiques induisant d'importantes modifications de la physiologie ou du développement de l'individu receveur, mais n'induisant pas de changement immédiat du comportement. Exemples: substance royale de la reine des abeilles, phéromones de grégarisation</p>
<p>Apneumones Substances émises par un matériel non vivant. Action bénéfique pour l'individu receveur</p>	

I.5.6. Stratégies reproductrices des Diptères nécrophages :

Des restes d'animaux (y compris le sang et les autres liquides) servent en tant qu'ultime endroit pour l'oviposition ou larviposition aussi bien que pour l'alimentation larvaire ultérieure qui suit la ponte des œufs ou la migration de larves sur le corps. Pour de nombreuses familles

de Diptères nécrophages essentiellement les Sarcophagidés et Calliphoridés, avant les événements de dépôts des œufs, un cadavre peut servir de source de nourriture pour les adultes qui se nourrissent, fournir des signaux chimiques pour promouvoir l'agrégation des adultes, et également en tant que site de copulation (Rivets et Dahlem, 2014). En fait, certaines espèces nécessitent plusieurs visites aux cadavres ou durant des périodes prolongées de l'alimentation nécessaire pour acquérir les vitamines pour développer les œufs (Wall et *al.*, 2002). Les insectes qui nécessitent des aliments pendant le stade adulte pour produire des ovocytes matures sont communément appelés anautogènes. L'autogénie décrit l'état des animaux, souvent dans le contexte de l'entomologie, dans lequel la femelle adulte est capable de produire des œufs dès leur émergence.

Dans le cas de plusieurs espèces de mouches nécrophages, les femelles adultes se nourrissent sur les sources de nourriture riche en protéines et éventuellement d'autres éléments nutritifs pour mener la maturation des œufs (Hammack, 1999). L'Autogénie est plus répandue chez Calliphoridae contrairement aux Sarcophagidae (Tab2).

Tab. 2 : Lien entre l'alimentation des adultes pour la production des œufs et la "ponte" chez les mouches nécrophages (Rivets et Dahlem, 2014).

Species	Family	Protein requirement	Progeny deposition
<i>Calliphora vicina</i>	Calliphoridae	Anautogenous	Oviparity
<i>Calliphora vomitoria</i>	Calliphoridae	Anautogenous	Oviparity
<i>Cochliomyia hominivorax</i>	Calliphoridae	Autogeny	Oviparity
<i>Lucilia cuprina</i>	Calliphoridae	Anautogenous	Oviparity
<i>Lucilia sericata</i>	Calliphoridae	Anautogenous	Oviparity
<i>Phormia regina</i>	Calliphoridae	Anautogenous	Oviparity
<i>Protophormia terraenovae</i>	Calliphoridae	Anautogenous	Oviparity
<i>Sarcophaga argyrostoma</i>	Sarcophagidae	Autogeny	Ovoviviparity
<i>Sarcophaga bullata</i>	Sarcophagidae	Anautogenous*	Ovoviviparity
<i>Sarcophaga crassipalpis</i>	Sarcophagidae	Anautogenous	Ovoviviparity
<i>Sarcophaga haemorrhoidalis</i>	Sarcophagidae	Anautogenous	Ovoviviparity

Les insectes anautogènes doivent obtenir des protéines en se nourrissant en tant qu'adultes pour produire des ovocytes matures, d'une manière caractéristique le repas de protéine est nécessaire pour procéder aux événements d'oogenèses et de vitellogenèses (Hahn et *al.*, 2008). Cependant, si une quantité critique de protéine n'est pas disponible, un arrêt du développement de l'ovocyte se produit au début du dépôt du jaune d'œuf. Les mouches dont le développement qui s'arrête peut reprendre après repas de protéines, tandis que ceux qui ne présentent pas d'arrêt dans le développement de l'ovocyte peuvent pondre plus tôt, dans la vie

de la femelle adulte. Cette différence dans le développement peut représenter une stratégie de reproduction conçues pour maximiser la production de la descendance lors de l'utilisation d'une ressource temporelle (Hayes et *al.*, 1999).

Toutefois certains Diptères nécrophages sont probablement prédisposés à stocker l'énergie sous forme de réserves nutritives durant les stades larvaires de sorte que, les adultes, peuvent pondre presque immédiatement les œufs (Bonnet et *al.*, 1998).

Le stress dû à la température est un problème particulièrement unique associé à l'environnement larvaire (masses larvaires), plutôt que l'adulte. Bien que l'assimilation des aliments est améliorée avec des températures élevées (au-dessous d'un seuil de température supérieure) (Rivers et *al.*, 2011), le stockage des éléments nutritifs à long terme est probablement limitée à cause des mécanismes physiologiques comme les réactions de stress protéotoxique (Rivers et *al.*, 2010) mais aussi à partir de « l'effet des masses larvaires » (Charabidzé et *al.*, 2011). Le scénario le plus probable à envisager est que les stratégies de reproduction s'appuient sur une fusion d'exploitations des ressources (Wessels et *al.*, 2010), avec l'évolution des conditions environnementales, de la disponibilité des ressources, et la fréquence de la production d'accouplement.

I.5.7. Biologie des masses larvaires :

Les insectes adultes ne présentent que peu d'intérêt. En effet, la présence d'une mouche ne signifie pas que celle-ci s'est développée sur le corps ; il peut en effet s'agir d'une espèce non-nécrophage ou d'un individu venant de se poser sur le cadavre. En revanche, les larves sont incapables de se déplacer sur de grandes distances et leur présence sur un corps peut donc être interprétée sans ambiguïté (Christopherson et Gigo 1997).

Les larves de Diptères nécrophages sont poikilothermes et la durée est dépendante de la température extérieure. D'une manière générale de leur développement, la durée de développement décroît quand la température augmente donc plus il fait chaud, plus le développement est rapide (Aubernon et *al.*, 2014).

I.5.7.1. Compétition individuelle :

La compétition pour l'utilisation de cadavres humains et animaux est peut-être la plus intense pour les larves nécrophages. Toutes les vitamines nécessaires pour le développement des larves sont dérivées des cadavres, habituellement sous forme de tissus mous. Ce substrat

nourricier lui-même, est une ressource limitée qui est exploitée par différents organismes vivants autres que les mouches nécrophages.

Le dépôt des œufs des mouches nécrophages peuvent généralement être considérées comme faisant partie d'une stratégie de reproduction qui tente à exploiter l'environnement riche en éléments nutritifs (cadavre). Donc la compétition pour cet écosystème éphémère commence avant l'éclosion des œufs. Le moment de la ponte ou larviposition par les mouches nécrophages est absolument essentiel pour atteindre la protéine nécessaire à partir de la ressource, tant pour les femelles adultes qui fournissent les œufs que pour les larves des premier stades qui commencent à se nourrir du cadavre (Levot et *al.*, 1979).

Cependant, le cadavre est une source temporaire et, c'est pourquoi, il est soumis à une compétition interspécifique et intraspécifique intense (Hanski et Kuusela, 1977). Les Calliphoridés et les Sarcophagidés ont développés des stratégies qui permettent la coexistence de leur cycle biologique sur la même ressource (à savoir le cadavre). Les stratégies sont centrées sur les différences de ponte. Par oviposition, l'oviparité et diverses formes de viviparité sont utilisées par les mouches nécrophages. Les différences sont les mieux illustrés en examinant les Sarcophagidae, qui produisent de petits agrégats avec des gros œufs qui éclosent à l'intérieur d'un ovisac ou oviducte commun, résultant de la femelle adulte qui dépose des larves au premier stade sur le cadavre (Denno et Cothran, 1975 ; Shewell, 1987).

En revanche, la plupart Calliphoridés pondent des œufs dans de gros amas et leurs œufs sont souvent plus petits que celles des Sarcophagidae (Shewell, 1987). Le développement larvaire est considéré plus lent pour les Sarcophagidae que pour les Calliphoridae, contribuant à l'idée de coexistence ou la concurrence d'exploitation (Park, 1962 in Rivets et Dahlem, 2014). Toutefois, le ralentissement du développement est caractéristique de seulement certains Sarcophagidae et peut également être considérablement, influencés par la situation du micro-habitat associé à la masse larvaire elle-même (Rivers et *al.*, 2011).

Il est donc impératif que les larves des premiers stades entrent efficacement en concurrence dans la lutte pour la nourriture dans cet environnement hostile. Plusieurs adaptations semblent faciliter l'utilisation des ressources alimentaires par les larves. Les mouches adultes arrivent généralement en quelques minutes après la mort et le dépôt d'œufs ou de larves dans des endroits favorables sur les tissus et les liquides riches en protéines (Rivers et *al.*, 2011).

De nombreuses études écologiques se sont attachées à décrire l'apparition du phénomène de compétition intra et interspécifique en se basant sur l'étude de l'entomofaune des cadavres. Il s'agit en effet d'une ressource alimentaire par nature éphémère et imprévisible, nécessitant des stratégies de colonisation et de développement particulières (Woodcock, 2002). La compétition y apparaît comme étant le principal facteur limitant les populations de larves se développant sur le corps, principalement dans le cas de cadavres de petite taille (Putman, 1977 ; Smith, 1997).

Après l'éclosion des œufs (pour espèces ovipares) ou le dépôt des larves (ovovivipares), les larves vont commencer une période d'alimentation intense sur les tissus mous. Cette dernière se caractérise généralement par une assimilation alimentaire rapide et efficace qui contribue à accélérer les taux de croissance (Ullyet, 1950; Roback, 1951 in Rivets et Dahlem, 2014).

(Ullyet, 1950 in Rivets et Dahlem, 2014) ont prouvés que la compétition larvaire sur le cadavre est le défi le plus important auquel fait face les mouches nécrophages en termes de succès de la reproduction. Si bien que certaines espèces ovovivipares ou larvipares aurait apparemment un avantage reproductif sur les espèces ovipares, au moins lorsque la source de protéine est limitée (Norris, 1965). Ceci s'explique par le fait que les larves ovovivipares déposées sont généralement plus grandes et peuvent atteindre une phase de croissance plus grande plus rapide que les espèces ovipares (Prinkkila et Hanski, 1995).

De plus, les études réalisées sur l'alimentation des larves tendent à infirmer l'existence de variations de la durée totale de développement selon le type de substrat alimentaire, mais démontrent un effet de leur alimentation sur la longueur et la masse finale des larves (Warren et Anderson, 2008). On observe également que les différences de valeur nutritive entre substrats sont amplifiées en cas de surpopulation et donc de compétition pour l'accès à la nourriture. Ce phénomène est par exemple visible chez *Chrysomya albiceps* dont les larves de dernier stade sont prédatrices de larves de Diptères Calliphoridae, prédation particulièrement développée lorsque la nourriture vient à manquer (Faria et Godoy 2001).

Par comparaison à d'autres insectes, les mouches nécrophages subissent quelques mues (deux) au cours des stades larvaires. En général, cela se traduit par une courte durée d'alimentation larvaire et par conséquent elles sont moins exposées à des prédateurs et des parasites potentiels (Cianci & Sheldon, 1990). De ce fait, le développement post-alimentaire peut commencer plus tôt dans le cycle de vie que celle observée avec les insectes qui nécessitent plus d'alimentation (Žárek & Sláma, 1972). Les événements de nymphose pour la plupart

des espèces se produit alors que les larves qui cessent de s'alimenter sont enterrées dans le sol, habituellement à plusieurs mètres du cadavre, conférant une protection supplémentaire contre les prédateurs et les parasites.

I.5.7.2. Grégarisme et augmentation de la température :

Les mouches nécrophages sont extrêmement efficaces en utilisant les cadavres. Cette efficacité est en grande partie réalisée par des efforts de coopération ou alimentation en groupe par les larves. Les agrégations se forment peu de temps après l'éclosion des œufs ou larviposition et lorsque des centaines de milliers d'individus sont réunis il y a création d'un micro- habitat connu sous le terme « masse larvaire » (Rivets et Dahlem, 2014). Ce comportement d'agrégation (ou grégarisme) est un phénomène très répandu chez les insectes. Il se caractérise par un regroupement actif (interattraction) entre individus indépendant de toute forme d'attraction, liée à la reproduction. Les tests de choix entre différents attractants n'ont cependant pas permis de déterminer clairement la nature du message, bien qu'un signal chimique lié à la présence d'autres larves ou de leurs déjections semble probable (Charadidzé, 2008).

Chez les larves de Diptères nécrophages, les mécanismes d'initiation, d'amplification et de régulation du groupe sont encore méconnus. Une récente étude a permis de démontrer que les larves de *Lucilia sericata* ont un comportement d'agrégation actif. En effet, quand les larves sont placées dans un environnement homogène, elles forment rapidement un agrégat qui, au bout de 24h, regroupe plus de 90% des individus. Cette expérience démontre que les larves ne sont pas simplement pondues agrégées, mais disposent de mécanismes actifs leur permettant de former des groupes stables (Boulay et al., 2013). Cette intense activité génère un dégagement de chaleur métabolique pouvant atteindre plusieurs dizaines de degrés. Aussi, plus la quantité de larve est importante, plus le dégagement de chaleur est élevé (Charabidzé et al., 2011). Cette augmentation de température est propice au développement des larves puisqu'elle permet de diminuer sa durée et de ce fait, le temps passé sur le cadavre, limite les risques de prédation. Une augmentation trop importante de la température risque cependant de tuer les larves. Il existe donc, des feedbacks négatifs qui jouent le rôle de régulateurs.

De nombreux paramètres environnementaux peuvent influencer la température des masses larvaires en plus des feedbacks positifs et négatifs. Il s'agit de la localisation du cadavre (soleil ou ombre) (Joy et al., 2006), de la température ambiante (Charabidzé et al., 2011), de la quantité de nourriture, etc.

Le dégagement de chaleur, met en avant plusieurs bénéfices liés à l'agrégation (fig.13). L'un d'eux est une coopération pour la digestion (Rivers et *al.*, 2011). En effet, les larves ont une digestion dite extracorporelle : elles secrètent une salive riche en antibiotiques et en enzymes protéolytiques qui permettent de liquéfier les tissus (Sandeman et *al.*, 1990 ; Padilha et *al.*, 2009). Plus il y a de larves, plus la quantité de sécrétions salivaires est importante, aboutissant ainsi à une liquéfaction facilitée des tissus et donc une meilleure assimilation (River et *al.*, 2011). Un autre bénéfice fréquemment cité est la diminution du risque de prédation. Cette stratégie d'évitement des prédateurs n'a cependant pas été étudiée chez les larves nécrophages de Diptères. Il est enfin probable que l'agrégation limite les pertes d'eau des individus et les protège contre la dessiccation. De ce fait, bien qu'il soit important de prendre en compte l'effet de l'augmentation de température au sein de la masse larvaire lors d'une expertise, cet effet doit surtout être intégré à la marge d'erreur de la datation plutôt qu'à l'estimation de l'âge des insectes.

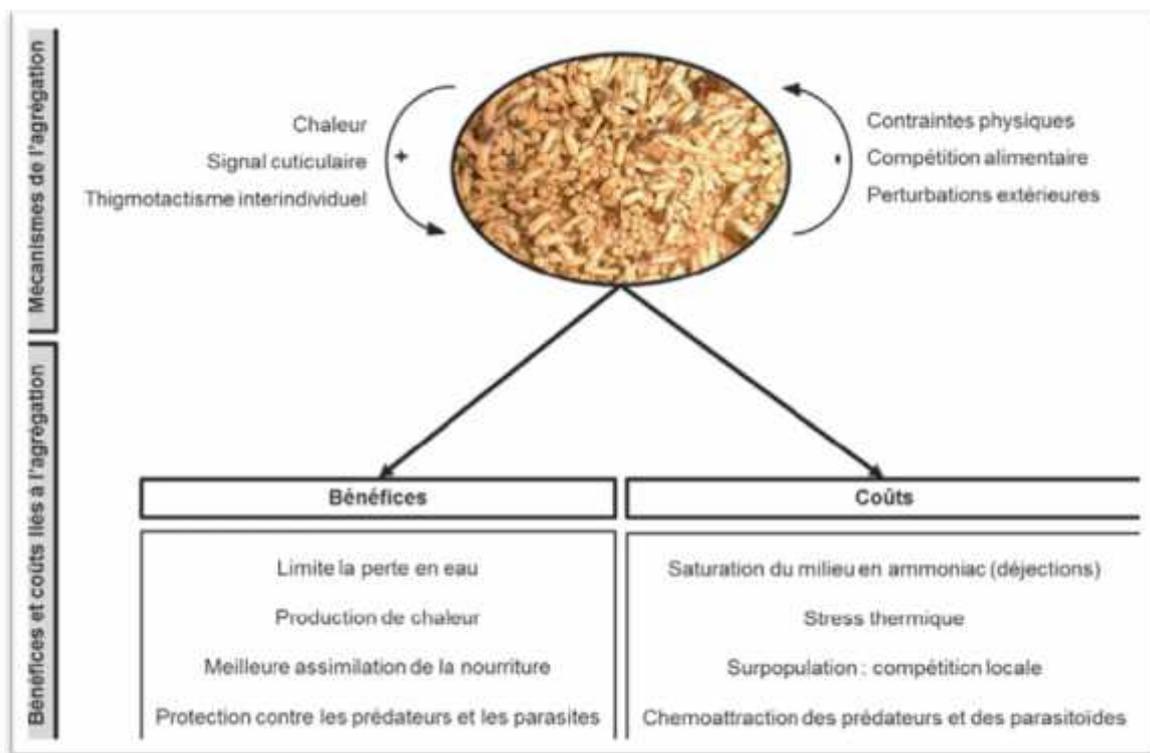


Fig. 13: Schéma récapitulatif des bénéfices et des effets délétères liés à l'agrégation ainsi que des mécanismes permettant l'initiation, l'amplification et la régulation du groupe chez les larves grégaires de Calliphoridae et de Sarcophagidae ((Boulay et *al.*, 2013).

I.6. L'intervalle *post mortem* (IPM) :

I.6.1. Qu'est-ce qu'un IPM ?

La découverte d'un cadavre humain dans tout contexte, mène à une enquête approfondie visant principalement à déterminer le moment où l'individu est mort (temps écoulé depuis la mort) et du lien de causalité de la mort. Habituellement, les détails entourant une mort suspecte ou d'homicide ne sont pas évidents, et donc un grand investissement de temps et de ressources sont nécessaires pour déchiffrer les événements menant jusqu'à et y compris la découverte du cadavre (Rivets et Dahlem, 2014).

L'entomologie forensique offre des outils qui contribuent à la définition du temps écoulé depuis la mort ou IPM (Tomberlin et *al.*, 2011). L'IPM est une estimation du moment où la mort est probablement survenue et ce calcul est basé sur de nombreux facteurs, y compris la température du cadavre, la température ambiante, l'apparence physique du corps, et une gamme de changements biochimiques qui ont lieu dans les fluides et les tissus du défunt. Le terme clé dans cette définition est une estimation, ce qui signifie que la valeur exacte ne peut pas être attribuée au moment du décès.

Pourquoi pas? Il y a beaucoup de raisons pour lesquelles l'IPM n'est pas une mesure exacte de la mort. D'une part, au moment où la mort survient, une série de changements se produisent dans le corps qui est unique à chaque individu de telle sorte, que chaque variable mesurée est le reflet de ce scénario de mortalité spécifique. Cela ne devrait pas être surprenant étant donné que lorsque la personne était en vie, toute mesure de référence des fluides osmolytes (comme le glucose sanguin), la température du corps ou de la fréquence cardiaque est définie dans une plage homéostatique qui varie en fonction de la physiologie de chaque individu. En outre, la succession écologique commence presque immédiatement, en particulier dans les milieux naturels, et par conséquent les conditions physiques et biologiques du cadavre sont modifiés uniquement en fonction des conditions ambiantes, des invertébrés saisonnières spécifiques, des vertébrés, et de la faune microbiennes qui colonisent, consomment voire utilise le cadavre (Kreitlow, 2010). Le résultat final est un cadavre modifié qui présente des caractéristiques post-mortem qui peuvent être quantifiés en une série de changements, mais qui ne correspond pas à une seule unité de temps.

Malgré le caractère unique, peu après la mort (les premières 24-48 heures), les analyses pathologiques des échantillons de tissus et des tests de laboratoire des fluides biologiques

fournissent une image assez précise de l'apparition de la mort. D'autres tests sont plus subjectifs dans la détermination d'un IPM, comme *rigor mortis* (rigidité cadavérique), *livor mortis* (lividité cadavérique) et la coagulation du sang (Estracanholti et al., 2009). De nouvelles méthodes d'estimation d'IPM ont été élaborées dans le but d'améliorer la précision et l'exactitude des estimations de l'heure de la mort. Ces approches utilisent des protocoles axés sur la technologie comme la fluorescence optique, spécifiquement conçu pour mesurer les changements dans l'auto-fluorescence de la peau, spectres ante-mortem par rapport au post-mortem (Estracanholti et al., 2009), sur les caractéristiques physiologiques tels que les concentrations de potassium dans les fluides de l'œil (fluide vitré) qui s'élèvent avec le temps de plus en plus après la mort et qui sont indépendantes de la température et de l'humidité (Ahi & Garg, 2011). Ces changements dans le corps après la mort ne comportent pas l'utilisation d'insectes, mais les informations entomologiques dérivés peuvent être utilisés au cours de cette première période pour confirmer, ajouter une précision supplémentaire, ou de réfuter les estimations issues de ces processus physiques et biochimiques. Après 48-72 heures, en particulier dans les cas d'exposition d'un cadavre en plein air, les techniques associées à la médecine légale deviennent moins précises pour l'évaluation du moment de la mort, et la méthodologie écologique commence à prendre une place centrale (Catts, 1992). Les insectes nécrophages jouent un rôle unique et important pour la détermination de l'IPM comme le temps depuis la mort augmente à partir des premières 72 heures (Goff, 2010).

I.6.2. Pourquoi l'PMI est important?

Détermination du temps depuis la mort, et donc l'IPM, est extrêmement précieuse dans les enquêtes criminelles, car cette information peut aider à identifier l'individu responsable de la mort de la victime et la victime (Gennard, 2007). Une telle classification et individualisation peut être fait via des comparaisons test afin d'éliminer des suspects (exclusions) et/ou connectez le défunt avec les personnes portées disparues au cours de la même période de temps. De façon similaire, l'IPM peut être appliquées dans les cas de négligence, d'abus, et le braconnage pour relier des suspects à la scène du crime (au moins pour démontrer le timing possible) ou de supprimer des individus comme des suspects.

Ces méthodes présentent une bonne fiabilité tant qu'elles sont appliquées dans le cas d'un IPM court ou minimum et d'un corps soumis à des températures relativement constantes, elles permettent une datation du décès à quelques heures près. En revanche, passés quelques jours après la mort, elles deviennent inefficaces ou très imprécises, le légiste se base alors sur l'aspect général du cadavre pour estimer l'IPM (Charabidzé, 2008).

I.6.3. L'IPM minimum :

Les preuves entomologiques représentent également des facteurs importants qui contribuent à la détermination du temps écoulé depuis la mort. Plusieurs espèces d'insectes nécrophages peuvent fournir un calendrier de plusieurs heures à quelques mois pour une procédure d'estimation de l'IPM selon combien de temps la personne décédée a été morte et la durée de l'exposition aux facteurs biotiques et abiotiques de l'environnement. Il est important de noter qu'un IPM dérivé d'insecte, est basé sur une période de temps après que les insectes ont découvert et commencé à coloniser le corps (Tomberlin et *al.*, 2011). Certains auteurs proposent que ces calculs de temps doivent être référencés comme étant la période d'activité des insectes (PAI) plutôt que IPM, parce les périodes basées sur le développement des insectes nécrophages peuvent être significativement différents du temps réel depuis la mort, car il y a un décalage entre le moment où la mort se produit et la première vague de colonisateurs effectivement détecter, localiser, et se nourrir sur le cadavre (Amendt et *al.*, 2007; Tomberlin et *al.*, 2011).

Plus récemment, l'utilité des Diptères nécrophages pour l'estimation du temps de la mort a été affinée à un intervalle post-mortem minimum (IPM min), qui représente la partie de la PMI totale à partir du moment de la colonisation des insectes jusqu'à la découverte de la plus ancienne larve sur le cadavre (Villet et *al.*, 2010). L'PMI min ne tient pas compte de laps de temps de la depuis mort jusqu'à ce que la colonisation des premiers insectes, parce la preuve entomologique généralement ne jette pas la lumière sur cet aspect de la PMI. L'PMI maximum ou IPM max a été proposée pour la période de temps à partir du moment où la victime a été vue pour la dernière fois en vie jusqu'au temps de la découverte (Villet et *al.*, 2010), et comprend généralement une période où les données d'insectes peuvent seulement contribuer partiellement (Huntington et *al.*, 2007 in Rivets et Dahlem, 2014).

I.7. Le rôle des Diptères nécrophages dans l'estimation de l'intervalle post-mortem :

Les techniques de médecine légale sont les plus pertinentes pour les 72 premières heures suivant la mort, passé ce délai, lorsque la température interne du corps s'est alignée sur la température extérieure et que les constantes physicochimiques de l'organisme sont trop altérées pour servir de repères, l'étude des insectes présents sur le cadavre devient la seule solution fiable permettant d'estimer l'heure du décès ainsi que d'éventuelles modifications *post mortem* (Kashyap et Pillay, 1989). Il devrait être évident que les insectes peuvent aider à

combler le vide pour les estimations de l'IPM en agissant comme principale forme écologique (biotique), mais qu'est ce que les rend utiles ?

Le fait que plusieurs espèces d'insectes sont attirées par la charogne en quelques minutes après la mort, la succession faunique est relativement prévisible pour certaines étapes de décomposition physique, et certaines espèces produisent des larves dont le développement est lié à l'alimentation sur le cadavre (Cherix et *al.*, 2012). Ces caractères permettent aux insectes nécrophages de contribuer à une partie de l'IMP par au moins deux façons.

La première repose sur la prévisibilité relative des espèces qui arrivent et utiliser la charogne par vagues pendant la décomposition physique. La présence ou l'absence d'une espèce particulière peut transmettre des informations qualitatives sur la durée et la période pendant laquelle l'organisme a été accessible pour la colonisation d'insectes ainsi que des conditions ambiantes. Par exemple, l'absence de colonisateurs de la première vague, à savoir les Calliphoridae, signifie que les restes du cadavre ne sont pas évaluables pour une période de temps définie, ou que les conditions environnementales ne sont pas favorables à l'activité des insectes. Dans la deuxième approche, une partie de l'IMP peut être estimée à partir d'insectes, spécifiquement, le développement des larves des mouches nécrophages. Plus précisément, l'âge de la plus vieille larve constatée sur le corps peut être utilisé pour faire une estimation du temps où ces mouches sont associées au cadavre (Rivets et Dahlem, 2014).

Afin d'utiliser les insectes nécrophages pour estimer un IPM, il y a cinq hypothèses de base qui doivent être remplies.

- 1- Les insectes utilisés pour les estimations PMI se nourrissent effectivement sur le corps pour répondre aux besoins de développement et de croissance.
- 2- Les femelles adultes n'ont pas pondu sur un hôte vivant.
- 3- Les insectes sont poïkilothermes.
- 4- Une relation linéaire existe entre la température et la croissance des stades larvaires, au moins pour des températures situées dans la zone de tolérance pour une espèce donnée et le stade de développement.
- 5- Le stade de développement des insectes déterminé avec précision.

I.8. Principe de la technique de calcul d'IPM :

L'application entomologique la plus connue du public en matière de criminalistique est celle consistant à estimer la date de mort, en tirant parti du fait que certaines espèces de Diptères,

appartenant principalement aux Calliphoridae et Sarcophagidae, peuvent venir déposer leurs œufs ou leur larves sur un cadavre dans les premières minutes ou les premières heures suivant le décès. Si les circonstances sont favorables, le délai entre le moment du décès et la ponte est très court et le jour de la ponte peut dès lors être raisonnablement assimilé à celui du décès, pour autant que rien n'ait entravé ou ralenti la découverte du cadavre par ces mouches. Il s'agit donc du calcul d'une date de ponte, suivie de l'estimation d'une date de mort (Hubrecht *et al.*, 2014).

De nombreuses méthodes existent pour calculer l'âge des larves de Diptères (Greenberg 1991, Day et Wallman 2006), mais toutes sont basées sur le même principe : le taux de développement de l'insecte est fonction de la température ambiante (Amendt *et al.* 2004).

L'approche qui est privilégiée par les experts (Hubrecht *et al.*, 2014 ; Wyss et Cherix 2006), se base sur la durée des cycles de développement des espèces de Calliphoridae et de Sarcophagidae. Chaque espèce de mouche a besoin d'une certaine somme de températures pour boucler son cycle de développement complet, de l'œuf à l'adulte émergent, cette somme ou constante de chaleur est spécifique et propre à chaque espèce. Cette méthode est connue sous le nom « d'accumulation degrés-jours » (ADD) décrite par Marchenko (2001) ou de façon plus fine, si on travaille sur une portion du cycle biologique « accumulation degrés-heures » (ADH) (Greenberg et Kunich, 2002, Amendt *et al.* 2004, 2007).

Cette méthode fonctionne avec une bonne précision à trois conditions toutefois : il faut tout d'abord disposer d'échantillons vivants. Ces échantillons doivent ensuite appartenir à la première génération d'insectes ayant colonisé le corps. Enfin, il faut se trouver dans une plage de température pour laquelle la relation développement/température est linéaire, ce qui exclut les températures extrêmes (Hubrecht *et al.*, 2014). Cette méthode est couramment utilisée en agronomie pour étudier le développement de systèmes vivants tels que végétaux et insectes. En effet, la durée du développement d'être vivants poïkilothermes (c'est à dire dont la température corporelle n'est pas constante et varie avec la température du milieu, ce qui est le cas des insectes) est fortement liée à la température du milieu. Ainsi, un organisme qui aurait besoin de 300 unités d'énergie pour son développement complet pourrait le faire en 10 jours si la température moyenne est de 30°C, ou en 20 jours à une température moyenne de 15°C, ou encore en 30 jours à une température de 10°C. Pour chaque espèce, dans une gamme déterminée de température ambiante, le développement suit une loi linéaire, et la quantité d'énergie (exprimée en C°-jour) nécessaire pour accomplir son cycle vital est une constante

(K : constante de chaleur). Pour calculer l'énergie reçue par un insecte un jour donné, il suffit donc de mesurer la température moyenne journalière. Néanmoins, le modèle tient compte du fait qu'une partie de l'énergie reçue chaque jour ne sert pas à progresser dans le développement physiologique de l'insecte, mais juste à entretenir sa biologie générale (respiration, digestion,...). Cette part d'énergie d'entretien est incluse dans la notion de température effective (T_{eff}), calculée en soustrayant le seuil minimal ou 'lower threshold' t_l de la température moyenne journalière. La valeur de la température seuil minimum est également propre à chaque espèce (Greenberg et Kunich 2002, Amendt *et al.* 2004, 2007).

Pour ce faire, le matériel entomologique vivant (œufs, larves, pupes) doit être placé en élevage contrôlé (incubateur thermostaté) jusqu'à l'émergence des adultes (identification taxonomique certaine). Connaissant la date exacte d'émergence, la ou les espèces mises en élevage (constante de chaleur et température seuil inférieure), les températures moyennes journalières de l'incubateur (températures constantes) et celles ayant régné sur la scène du décès (moyenne journalière sur 24h), l'entomologiste possède toutes les données nécessaires pour calculer le jour de la ponte et donc la date supposée du décès.

La quantité effective totale d'énergie fournie au laboratoire dans l'incubateur est donc connue, Soit $\Sigma (T_{effectives} \text{ en incubateur})$. Cette quantité d'énergie est soustraite de la constante K décrite dans la littérature.

La différence vaut $\Sigma (T_{effectives} \text{ de la scène de décès})$ et représente la quantité d'énergie que la mouche a accumulée pendant la période où elle se trouvait sur le corps.

Cette valeur dépend principalement de la moyenne journalière de la température ambiante sur les lieux, et sera déduite de la reconstruction du microclimat.

$$K = \Sigma (T_{moyenne \text{ journalière}} - t_l)$$

$$\Rightarrow K = \Sigma (T_{effectives \text{ totales}})$$

$$\Rightarrow K = \Sigma (T_{effectives \text{ de la scène de décès}}) + \Sigma (T_{effectives \text{ en incubateur}})$$

Et donc :

$$\Sigma (T_{effectives \text{ de la scène de décès}}) = K - \Sigma (T_{effectives \text{ en incubateur}})$$

Grâce à cette modélisation du climat préexistant sur la scène de décès, il est possible d'estimer jour par jour la quantité d'énergie reçue par les larves, et de cette manière de remonter le temps jusqu'au jour de la ponte (Hubrecht *et al.*, 2014).

I.9. Les Insectes en tant qu'indicateur toxicologique

Une analyse attentive des insectes rencontrés sur un corps en décomposition, combiné avec la connaissance de biologie, l'écologie des insectes et des conditions environnementales locales, peuvent souvent offrir de précieux aperçus médico-légaux. Ceux-ci peuvent inclure l'estimation du temps écoulé depuis la mort (IPM), mouvement du cadavre après la mort, indication de blessures ante-mortem et la présence de drogues ou de toxines (Goff et Lord, 2010).

Au cours des dernières années, l'intérêt a également porté sur l'utilisation potentielle des insectes qui fréquentent les cadavres comme spécimens toxicologiques alternatives dans des situations où les sources toxicologiques traditionnels, tels que le sang, l'urine ou des tissus solides, ne sont pas disponibles ou ne conviennent pas à l'analyse. L'utilisation de larves de mouches nécrophages comme spécimens toxicologiques alternatives est bien cité dans la littérature scientifique entomologique et médico-légale (Miller et *al.*, 1994).

La détection de diverses toxines et substances dans les insectes trouvés sur des cadavres humains décomposés a contribué à l'évaluation à la fois de la cause et des circonstances du décès (Goff et Lord, 1994 ; Nolte et *al.*, 1992). Avec le développement de technologies d'extraction de cheveux, l'attention s'est récemment concentrée sur l'analyse des exuvies d'insectes qui sont fréquemment rencontrés avec les restes momifiés et squelettisés (Miller et *al.*, 1994). Dans de tels cas, les échantillons toxicologiques standards sont souvent absents. Les études sur l'utilisation des arthropodes nécrophages comme spécimens toxicologiques et de l'impact que les toxines des tissus et des contaminants ont sur le développement des insectes immatures se nourrissent de ces substances, représentent actuellement les principales voies de prospection dans le domaine émergent de l'entomotxicologie.

L'exactitude des estimations entomologiques des décès impliquant l'intoxication narcotique (par des stupéfiants) a fait l'objet d'un débat au cours des dernières années, quelques études Au cours des dernières années, l'intérêt a également porté sur l'utilisation potentielle des insectes qui fréquentent les cadavres comme spécimens toxicologiques alternatives dans des situations où les sources toxicologiques traditionnels, tels que le sang, l'urine ou des tissus solides, ne sont pas disponibles ou ne conviennent pas à l'analyse. L'utilisation de larves de mouches nécrophages comme spécimens toxicologiques alternatives est bien cité dans la littérature scientifique entomologique et médico-légale (Miller et *al.*, 1994).

Tab 3 : Exemple de calcul de la date de ponte pour deux espèces de Diptères (Hubrecht et al., 2014).

Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3	Colonne 4	Colonne 5	Colonne 6	Colonne 7	Colonne 8	
	Date	T° moyenne journalière en incubateur (°C)	T° moyenne journalière sur place (°C) (extrapolation)	T° effective (°C) $T_{i, Phormia\ regina} = 11,4^{\circ}\text{C}$	ADD (°C-jour) $K_{Phormia\ regina} = 148^{\circ}\text{C-jours}$	T° effective (°C) $T_{i, Lucilia\ sericata} = 9^{\circ}\text{C}$	ADD (°C-jour) $K_{Lucilia\ sericata} = 207^{\circ}\text{C-jours}$	
Premières pontes de <i>Lucilia sericata</i> et de <i>Phormia regina</i>	Jour -8		18,3	6,9	151,2	9,3	212,8	$\Sigma (T_{\text{effective}} \text{ jours de obs.})$
	Jour -7		19,5	8,1	144,3	10,5	203,5	
	Jour -6		18,2	6,8	136,2	9,2	193,0	
	Jour -5		22,2	10,8	129,4	13,2	183,8	
	Jour -4		23,6	12,2	118,6	14,6	170,6	
	Jour -3		23,8	12,4	106,4	14,8	156,0	
	Jour -2		24,1	12,7	94,0	15,1	141,2	
	Jour -1		20,9	9,5	81,3	11,9	126,1	
Découverte du corps (moyenne horaire de 16,8°C)	Jour J		18,7 ^b	7,3 ^c	71,8	9,7 ^c	114,2	
Mise en incubateur à 10:00 (moyenne horaire de 20,0°C)	Jour J							
	Jour +1	20,0		8,6	64,5	11,0	104,5	$\Sigma (T_{\text{effective}} \text{ en incubateur})$
	Jour +2	20,0		8,6	55,9	11,0	93,5	
	Jour +3	20,0		8,6	47,3	11,0	82,5	
	Jour +4	20,0		8,6	38,7	11,0	71,5	
	Jour +5	20,0		8,6	30,1	11,0	60,5	
	Jour +6	20,0		8,6	21,5	11,0	49,5	
	Jour +7	20,0		8,6	12,9	11,0	38,5	
Premières éclosions <i>Phormia regina</i> (12:00)	Jour +8	20,0		4,3 ^a	4,3	11,0	27,5	
	Jour +9	20,0		-	-	11,0	16,5	
Premières éclosions <i>Lucilia sericata</i> (12:00)	Jour +10	20,0		-	-	5,5 ^a	5,5	

(a): Cette valeur ne tient compte que d'un séjour de 12 heures dans l'incubateur (éclosion à 12 : 00). (b) : Moyenne journalière et température effective tenant compte du temps passé sur le corps, et du temps passé en incubateur

La détection de diverses toxines et substances dans les insectes trouvés sur des cadavres humains décomposés a contribué à l'évaluation à la fois de la cause et des circonstances du décès (Goff et Lord, 1994 ; Nolte et *al.*, 1992). Avec le développement de technologies d'extraction de cheveux, l'attention s'est récemment concentrée sur l'analyse des exuvies d'insectes qui sont fréquemment rencontrés avec les restes momifiés et squelettisés (Miller et *al.*, 1994). Dans de tels cas, les échantillons toxicologiques standards sont souvent absents. Les études sur l'utilisation des arthropodes nécrophages comme spécimens toxicologiques et de l'impact que les toxines des tissus et des contaminants ont sur le développement des insectes immatures se nourrissent de ces substances, représentent actuellement les principales voies de prospection dans le domaine émergent de l'entomotxicologie.

Historiquement, il a été difficile d'obtenir des informations toxicologiques dans de tels cas de décomposition avancée dû en grande partie à un manque de tissu analysable suffisante. Une variété d'insectes et leurs exuvies larvaires et pupes, cependant, sont couramment rencontrés sur les restes putréfiés, momifiés et squelettes (Goff et Lord, 2010).

Plusieurs études récentes ont décrit la détection de toxines et substances contrôlées dans les insectes et leurs exuvies récupérés des victimes fortement décomposés. Dans ces rapports, les insectes ont été généralement récupérer, homogénéisés et ensuite traitées d'une manière similaire à celle d'autres tissus et fluides traditionnelles, ou soumis à l'extraction des techniques développées pour l'analyse de tissus rigoureux, comme les cheveux et les ongles. Procédures analytiques ont inclus le radioimmunos dosage (RAI), chromatographie en phase gazeuse (GC), la chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (GC/MS), chromatographie en couche mince (TLC), ou la chromatographie liquide à haute performance-spectrométrie de masse (HPLC /MS).

Les chercheurs ont utilisé diverses méthodes d'administration des médicaments dans leurs tentatives de reproduire avec précision les concentrations tissulaires de médicaments et des toxines observées dans les décès par surdose / empoisonnement humain. (Sadler et *al.*, 1997), par exemple, le développement de larves de mouches alimentées d'un milieu alimentaire artificiel ensemencé avec une concentration connue du médicament testé. D'autres chercheurs ont utilisé des méthodologies alternatives, dans laquelle des quantités connues d'un médicament ou une toxine sont administrés par voie orale et par perfusion à un modèle d'animal vivant, ainsi que les tissus de vertébrés résultants sont ensuite utilisés comme source de nourriture des insectes. Cette dernière méthode permet à des médicaments et des toxines à

être métabolisés par l'hôte vertébré avant l'ingestion d'insectes. Goff *et al.*, (1997) ont suggéré que de nombreux médicaments, comme la cocaïne, exercent leurs effets sous forme de métabolite mammifère plutôt que le composé parent, et que les modèles d'animaux vivants présenter un scénario plus étroitement lié à celui observé dans les décès réels liés à la drogue..

(Goff *et al.*, 1991), détaille des résultats qualitatifs similaires dans les études de dosages connus de la cocaïne et de l'héroïne administrées à des lapins de laboratoire. Les larves, ensuite nourris sur les tissus de ces animaux et analysés. Les concentrations de médicament, démontrée clairement la preuve de la consommation de drogue et de leur bioaccumulation. Des relations quantitatives entre les tissus de lapin testés et les larves de mouches en développement étaient suggestive, mais pas définitive. Introna *et al.*, (2001) et Bourel *et al.*, (2001) ont noté des relations similaires entre les concentrations d'opiacés dans le substrat et les larves en développement, Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires avant une compréhension claire des mécanismes sous-jacents de ces processus et le modèle de recherche optimal soit élucidé

La valeur potentielle des larves et des insectes adultes se nourrissant de charognes et leurs exuvies, a été clairement démontrée comme sources d'information toxicologique. Comme avec d'autres nouvelles technologies, cependant, de grandes précautions doivent être prises dans l'interprétation et l'utilisation de ces données, en particulier au sein du domaine médico-légale. Compte tenu des récentes avancées dans les procédures d'analyse, il est plus pratique d'utiliser même de tissus décomposés pour l'analyse (Tracqui *et al.*, 2004). La situation peut encore être rencontré où, pour diverses raisons, il n'y a pas de tissus restants et les insectes nécrophages restent le seul matériau disponible pour des analyses. Dans ces cas, une analyse qualitative sera utile, mais toute tentative de quantification doit être considérée avec scepticisme. Beaucoup plus de recherches sont nécessaires avant que le plein potentiel de cette discipline peut être reconnu.

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1. Sites d'étude :

Cette étude a été effectuée dans deux sites différents, deux champs ouverts situés dans la wilaya de Skikda dans le nord-est de l'Algérie (36°93'N., 06°95'E) à une altitude de 7m au-dessus du niveau de la mer. Dans cette région, les températures moyennes annuelles fluctuent entre (8,8 °C et 29,4 °C) et l'humidité relative annuelle est généralement au-dessus de 76 %.

Le premier site est un champ de blé situé dans la commune de Ramadan Djemal, situé à 17 km du chef lieu de Wilaya, bordés de terrains agricoles avec un couvert végétal abondant à coté d'une forêt d'arbre d'eucalyptus (Fig.14 a ; Tab.4).

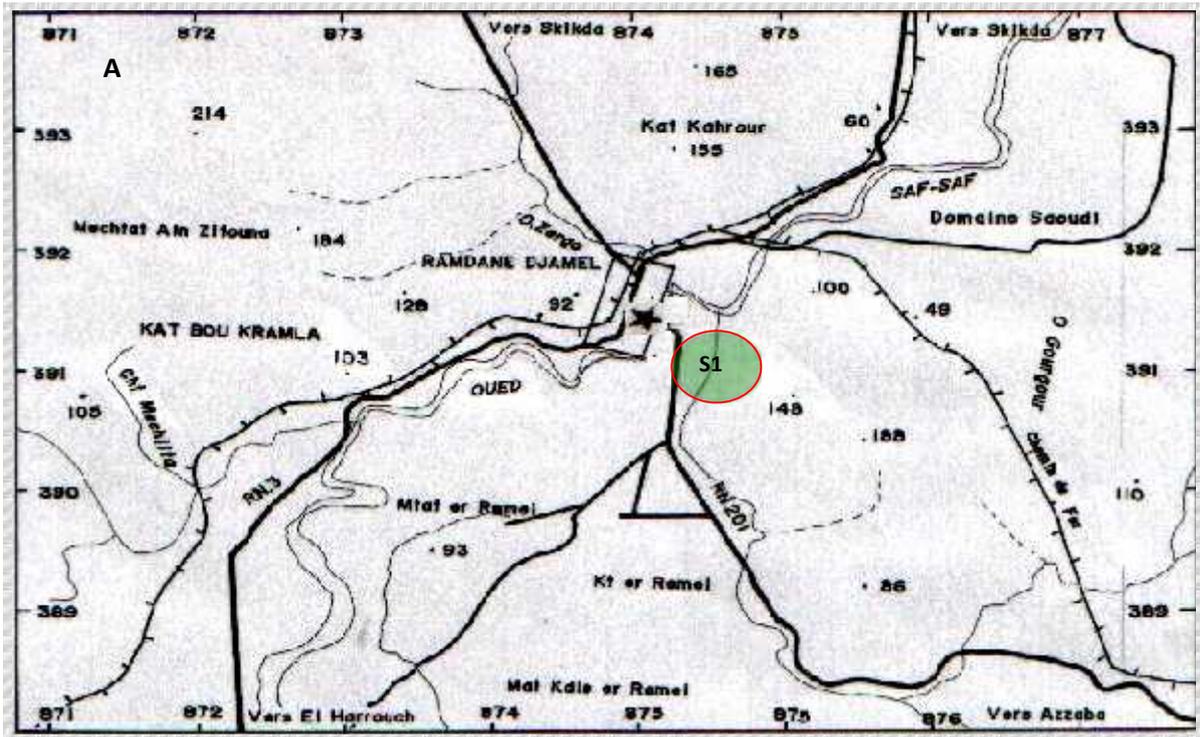
Le deuxième site est localisé à l'ancienne école d'agriculture (actuelle université de Skikda), et situé à 3Km du chef lieu de la wilaya. C'est une région à une vocation agricole, caractérisée par la présence de vergers d'oranger (Fig.14 b ; Tab.4).

Tab.4 : Lieux et périodes expérimentations.

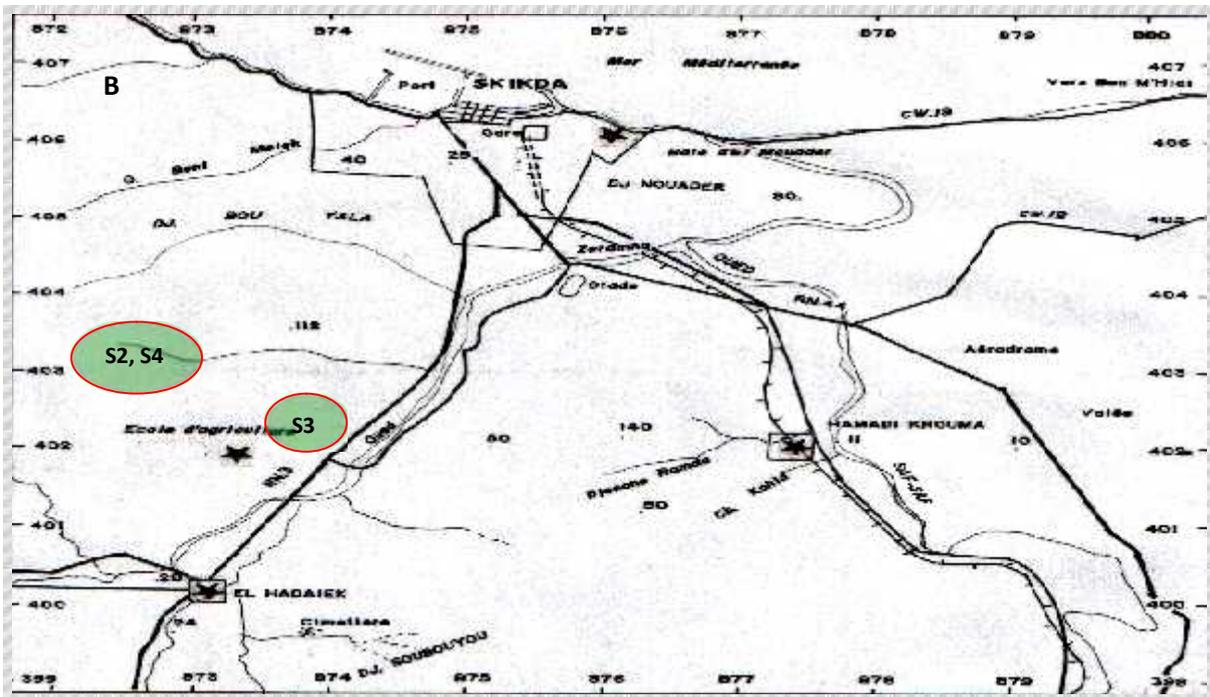
Année	Expérimentation	Lieu	Poids	Début d'expérience	Fin d'expérience
2008	Dog 1	Ramdane Djamel	22 Kg	25/03/2008	13/05/2008
2010	Rab 1	Université de Skikda	3.4 Kg	15/05/2010	24/06/2010
2011	Dog 2	Université de Skikda	18 Kg	07/03/2011	22/04/2011
2012	Rab 2	Université de Skikda	2.8 Kg	09/02/2012	19/03/2012

II.2. Modèle animal :

Deux chiens « *Canis familiaris* » (poids 22Kg et 18 Kg) (Fig.15 a, b) et deux lapins « *Oryctolagus cuniculus* Linnaeus, 1758, (Poids 2 Kg et 2.8 Kg) (Fig.15 c, d) ont été utilisés



Source : extrait de la carte topographique. Ramdane Djamel au 1/50.000 (feuille N° 31)



Source : extrait de la carte topographique. de Skikda au 1/50.000 (feuille N° 15)



Site d'expérimentation

Fig. 14 : Situation géographique des sites d'expérimentations dans : (A) la commune de Ramdane Djamel, (B) la commune de Skikda



(A) Expérience Chien 1 (Dog1)



(B) Expérience Chien 2 (Dog2)



(C) Expérience lapin 1 (Rab1)



(D) Expérience lapin 2 (Rab2)

Fig.15 : Photographie des différents cadavres utilisés dans les expérimentations

comme modèle animal. Les porcs sont généralement utilisés pour des études similaires, mais cet animal n'est pas disponible en Algérie.

Concernant les chiens ce sont des animaux errants qui nous ont été remis par les services d'hygiène chargés de les éradiquer car ils représentent un danger public, d'autant que par périodes ces chiens errants se comptent par vingtaine.

Immédiatement après leur mort, les chiens et les sont placés dans des cages métalliques individuelles (120cm x 120cm x 120cm) grillagés à mailles fines de 2cm x 2cm. Cela permet l'accès des insectes tout en protégeant le cadavre des prédateurs éventuels.

II.3. Prélèvement sur terrain

Le processus de décomposition est observé pendant la journée (Annexe 3). Ainsi les échantillons sont prélevés deux fois par jour (09h00 et 14h00) pour les deux premières semaines; ensuite une fois par jour (à 11h00) et ce, jusqu'au stade de squelettisation des cadavres.

II.3.1. Les équipements entomologiques nécessaires pour un échantillonnage à partir d'un cadavre :

L'équipement entomologique requis comprend tout le matériel permettant la récolte (bocaux, filet entomologique, appareil photo) et la conservation des insectes récoltés (eau bouillante pour fixer les larves, l'éthanol 70% à 95% pour la conservation).

Pour mesurer la température du corps ainsi que la température de la masse des larves nous avons utilisé un thermomètre à sonde numérique (fig.16)



Fig.16 : thermomètre à sonde numérique

Fig.17: Flacons étiquetés contenant des larves fixées

II.3.2. Méthodes de collecte :

Afin de prélever un échantillon représentatif de toutes les espèces présentes sur le cadavre, il faut recueillir les insectes de tous types et à divers stades de développement. Bien que les larves les plus grandes (âgées) soient souvent les plus informatives, il est important de faire des prélèvements qui reflètent la diversité des insectes présents sur ou à proximité du corps. Les échantillons doivent donc être prélevés sans omettre certaines espèces ou certains stades et en différents points (Wyss et Cherix 2006 ; Amendt et *al.*, 2006). Les échantillonnages ont été réalisés à différents niveaux tels les orifices naturels, surtout les yeux et le nez (sites d'oviposition préférés), les blessures (site de ponte préféré), l'interface du cadavre et du substrat, les endroits où le liquide putride s'écoule, partout sur le corps où les larves peuvent avoir rampé pour se cacher.

Pour différentes raisons, il est nécessaire de fixer certains prélèvements d'insectes et d'en garder d'autres vivants.

II.3.2.1. La collecte de spécimens fixés:

Pour arrêter la croissance des insectes trouvés sur ou à proximité du cadavre et les conserver, il est important de les tuer et de les fixer de façon adaptée. Ceci permet d'estimer l'IPM min sans facteurs additionnels qui pourraient influencer le développement des insectes.

Les larves de Diptères ne doivent pas être simplement placées dans un agent de conservation, tel que l'éthanol (Amendt et *al.*, 2006) car l'immersion directe dans l'alcool cause l'assombrissement des larves, ce qui peut obstruer certains traits morphologique, et diminue leur taille. ce qui peut affecter les calculs d'âge basés sur la morphométrie (Adams et Hall, 2003 ; Richards et *al.*, 2013). Il est fortement recommandé de placer les larves vivantes dans de l'eau très chaude ou bouillante pendant 30 secondes, puis les préserver dans un petit flacon qui contient de l'éthanol à 70-95% avec une étiquette placée sur le flacon, qui indique la date et le lieu de prélèvement (Fig.17).

II.3.2.2. La collecte des spécimens vivants:

La moitié des spécimens larvaires sont prélevés à l'aide d'une cuillère puis placés dans des piluliers ou flacons en plastique pour un éventuel élevage au laboratoire.

Les pupes récoltées sont stockées dans des flacons avec un couvercle perforé de petits trous pour permettre l'entrée d'air. Elles sont ensuite transférées, pour l'élevage, dans des étuves sous des conditions contrôlées (température et humidité connues).

Pour attraper les mouches adultes, trois types de piégeage sont utilisés :

- Un filet à papillons pour capturer les insectes volants au-dessus du corps. Son utilisation permet de faire pénétrer l'insecte dans le filet et de le refermer pour éviter que les mouches ne ressortent.
- Un piège à appât pour attirer les mouches qui volent autour du cadavre. Pour ce piège on utilise le haut d'une bouteille de 2 litres d'eau, qui fera office d'entonnoir de taille moyenne maintenu largement ouvert par une plaque d'un matériau synthétique rigide, genre plexiglas enfoncée à force et maintenue par deux petits fils de fer. La bouteille utilisée pour la récolte est un modèle de 1 litre (contenant de la viande hachée) possédant un gros goulot afin d'autoriser un passage aisé à tous nos insectes, deux bouchons collés dos à dos assurent la liaison.
- Un piège à émergence qui est un dispositif empêchant les insectes adultes de se disperser quand ils sortent de leurs stades immatures pour aller sur un substrat quelconque, tel que les cadavres, Le mode opératoire consiste à "emballer" le cadavre afin de récupérer toutes les mouches qui en émergent. A l'aide d'un voile solide ou d'un tissu genre moustiquaire, on enveloppe complètement l'objet étudié et l'on dispose un ou plusieurs réceptacles permettant la récolte.

II.3.3. Conditions microclimatiques :

L'environnement ainsi que le climat ont une influence très importante sur le développement des insectes. Par conséquent, les conditions de température et l'environnement auquel les stades immatures ont été exposés, doivent être reconstituées (Amendt et *al.*, 2006, Sharanowski et *al.*, 2008). Afin d'avoir des résultats plus précis, on a installé une station météorologique à côté des sites d'études pour enregistrer toutes les données météorologiques essentielles à l'étude de la faune cadavérique (température, humidité relative.....etc.).

II.4. Traitement des prélèvements au laboratoire :

II.4.1. Montage et identification:

II.4.1.1. Préparation et montage des adultes :

Les adultes capturés sont tués dans un bocal contenant de l'éthyle acétate puis transférés dans un bocal contenant un fond de sable fin humidifié à l'eau et avec un peu d'alcool à 70°. Pour éviter le développement des moisissures, ces insectes sont maintenus dans ce milieu pendant environ 48 heures.

Les mouches nécrophages tuées sont généralement secs et prêtes à être piquées à travers le thorax à l'aide d'aiguilles entomologiques sur une planche de polystyrène. Par la suite, ils sont identifiés à l'aide de divers clés d'identifications sous une loupe binoculaire.

Chaque spécimen doit être muni d'une étiquette comportant le nom de l'espèce, le nom de lieu de découverte, la date de capture et le nom de l'identificateur (Fig.18). Les mouches ainsi étiquetés, sont installés dans des boîtes de collection, dans lesquelles nous mettons un peu de créosote de hêtre (pour éviter l'attaque des insectes (Fig.19).



Fig. 18 : Adulte monté avec aiguille entomologique

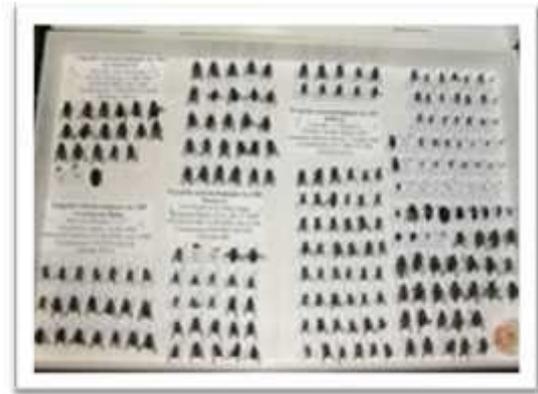


Fig. 19 : Boîte de collection des différentes espèces d'adultes récoltées

Le montage s'effectue sur des larves de stade III, préalablement bouillie et fixé dans l'alcool 70° :

1. Des fissures longitudinales et transversales sont effectuées au niveau de la cuticule, comme indiquées sur la figure 20. Cette opération facilite l'entrée de la solution dans laquelle l'échantillon est ensuite immergé et facilite aussi la phase finale de l'analyse de la préparation.

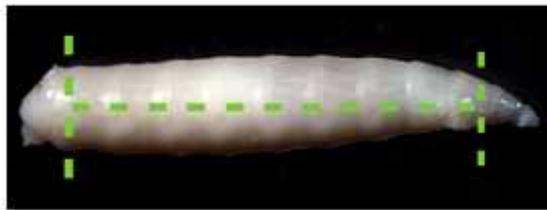


Fig.20 : Zones de dissections de la larve

2. Immersion (pendant quelques minutes) de l'échantillon dans une solution, préalablement chauffé évitant ébullition. Cette solution est constituée de NaOH à 5% et du savon liquide. L'hydroxyde de sodium, mieux connu comme "soude caustique" est une base minérale forte qui a pour fonction de dégrader les tissus internes de la larve et maintenir la cuticule et le céphalosquelette dont des caractères morphologiques et sont utiles pour la détermination des espèces. Cette étape est très délicate car la solution mentionnée ci-dessus a une action rapide. Par conséquent, cette étape est très délicate, l'échantillon doit être constamment contrôlé afin

d'éviter une dégradation excessive qui pourrait compromettre l'intégrité des spécimens. Le savon agit comme un agent tensio-actif, ce qui favorise la désintégration interne.

3. Retirer l'échantillon de la solution et rincé à l'eau distillée. Nous recommandons plus d'un rinçage pour être sûr de supprimer toutes les traces de soude et de savon qui pourraient interférer avec la visualisation au microscope

4. Procéder à la déshydratation dans d'alcool. Avant d'être monté sur la lame, les échantillons doivent d'être déshydratés, pour retirer toute trace d'eau dans les tissus.

Elle consiste à immerger l'échantillon dans quatre récipients différents contenant chacun l'éthanol à concentrations ascendante (80°,95° et 100°) pendant 3 minutes.

5. L'immersion de l'échantillon dans le xylène pendant quelques minutes.

Cette étape élimine toutes les traces d'alcool dans les tissus et prépare l'échantillon pour être monté entre lames et lamelles.

6. les spécimens préparés sont montés entre lame et lamelle dans une goutte de baume de Canada.

Avant analyse microscopique il est recommandé de laisser sécher quelques heures dans l'étuve.

II.5. Identification des spécimens :

Les adultes sont plus facilement identifiés par leurs caractéristiques physiques (Fig.21), et même les larves de certaines espèces peuvent généralement être distinguées.

On a utilisé diverses clés pour l'identification des larves et adultes (Szpila et al. 2008; Szpila et Villet, 2011; Szpila et al. 2013a, b ; Szpila et al. 2013), (witworth, 2010), (Gennard, 2007), (Wyss et Cherix, 2006), (Greenberg et Kunich, 2002), (Rognes, 1998).

Pour l'identification des larves, on se base essentiellement sur certaines parties du corps : les formes de spiracle antérieur, le spiracle postérieur, le céphalosquelette ainsi que les bandes d'épines au niveau des segments thoraciques et abdominaux (fig.22).

II.6. Techniques d'élevages :

Dans le but d'étudier la durée des cycles de développement de quelques espèces appartenant au Diptères nécrophages, nous avons effectué une série d'élevage des œufs d'espèces fréquemment récoltées. L'élevage a été réalisé au sein du laboratoire d'entomologie forensique (université de Pavia, Italie).

La technique d'élevage consiste à récupérer des échantillons d'œufs contenus dans les différentes cages d'élevages lesquelles contiennent chacune des adultes mâles et femelles, des larves de différents stades, des pupes ainsi que les œufs appartenant à une même espèce. Les œufs récupérés sont ensuite déposés sur de la viande hachée placée dans un récipient.

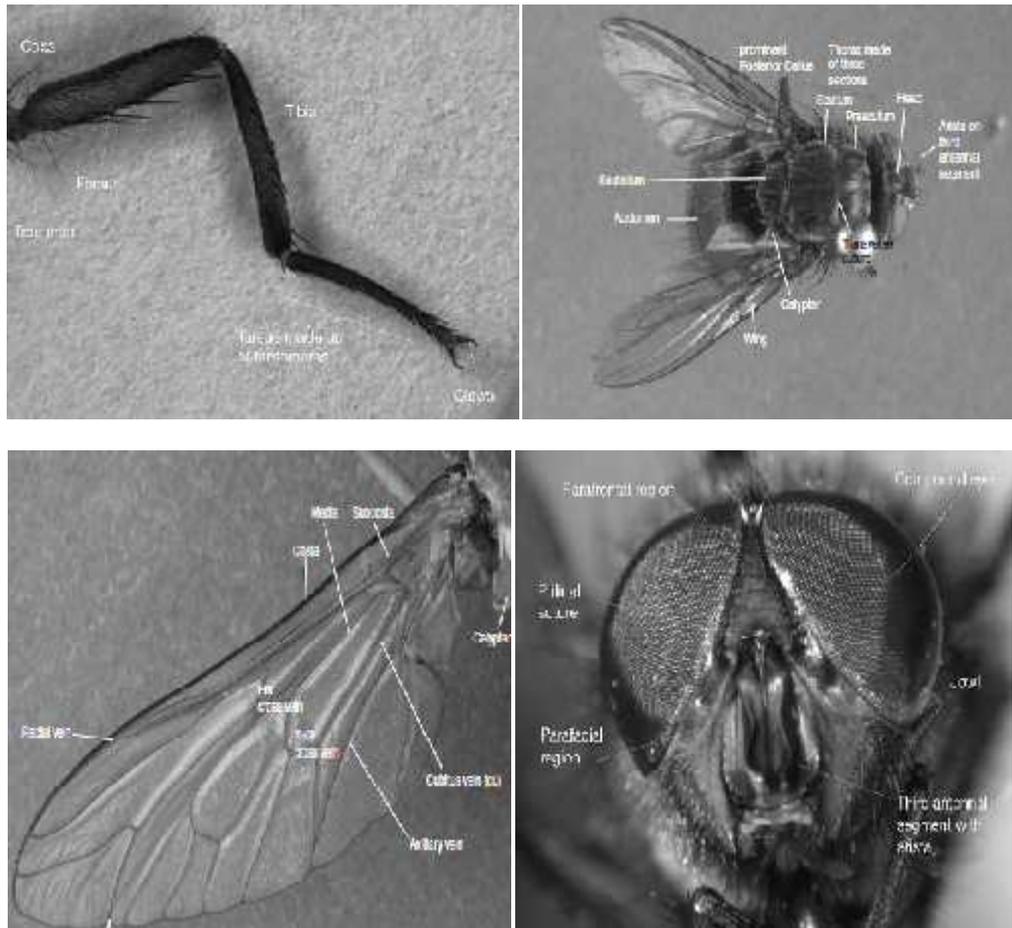


Fig. 21 : Les principales structures utilisées dans l'identification des larves de Diptères nécrophages (Gennard, 2007)

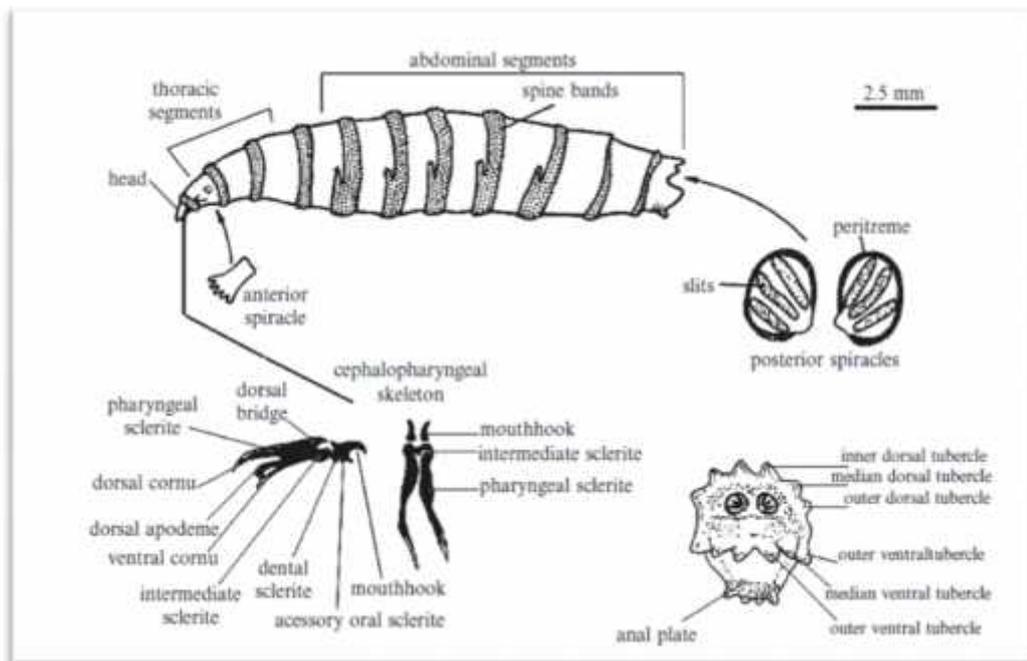


Fig.22 : les principales structures utilisées dans l'identification des larves de Diptères nécrophages (Amendt *et al.*, 2010)

Les récipients contenant la viande et les prélèvements sont eux-mêmes déposés sur un lit de sable dans une boîte percée pour l'aération.

Les boîtes d'élevage sont alors déposées dans un incubateur (fig.23) qui sera programmé de façon à donner des conditions de température moyenne journalière. Ceci dans le but d'éviter de mettre les insectes prélevés dans des conditions conduisant à l'échec de l'élevage. *Calliphora vicina* par exemple ne parvient pas à se développer pour des températures constamment supérieures à 30°C (Greenberg, 1991), *Lucilia sericata* ne se développe pas à des températures inférieures à 15°C (Grassberger et Reiter, 2001).

L'incubateur est aussi programmé de manière à ce qu'ils reproduisent un rythme circadien, tant sur la luminosité que sur la température. La photopériode imposée est généralement de 16h (jour) / 8h (nuit) et la température est plus basse la nuit et plus élevée le jour.

Les échantillons sont suivies chaque jour pour le calcul de la durée de développement de chaque stade et ce, jusqu'à l'émergence.



Fig.23 : Incubateur utilisé pour l'élevage des larves.

II.7. Méthodes d'analyse et d'exploitation des résultats :

Une expérience biologique est, peut on dire, une action au moins partiellement contrôlée, sur tout ou une partie d'un matériel vivant, dont le résultat, décrit en terme quantitatifs ou numériques, fait l'objet d'une interprétation. (Lallouche et Lazar, 1974 in Mezedjri, 2008).

Pour mieux exploiter ces résultats, nous avons effectué des analyses de la distribution d'abondance et utilisé des indices écologiques notamment celle de la diversité. Les méthodes d'analyse statistique telle que l'ANOVA, méthode de la plus petite différence significative (*p.p.d.s.*) et l'analyse multivariée ont été utilisées dans l'exploitation des résultats.

II.7.1. Méthode d'exploitation des résultats par des indices écologiques :

Les résultats sont traités par des indices écologiques de composition et par des indices écologiques de structure.

II.7.1.1. Indice Ecologique de Composition :

Les indices écologiques de composition appliqués sont représentés par la richesse spécifique totale et moyenne, la fréquence centimale ou abondance relative et la fréquence d'occurrence.

a) La richesse spécifique S :

La richesse spécifique est l'ensemble des espèces que comporte un peuplement considéré dans un écosystème donné (Ramade, 1984) donc S est le nombre des espèces obtenu à partir du nombre total des relevés.

b) L'abondance relative :

L'abondance relative correspond à la participation d'une espèce en terme d'individus « ni » par rapport au total des individus « N » (Dajoz, 1971).

Elle est calculée par la formule suivante :

$$C = \frac{n_i}{N} \times 100$$

n_i : nombre d'individus de l'espèce i
 N : nombre totale des relevés effectués

II.7.1.2. Indice écologique de structure :

Les indices écologiques de structure appliquée dans le traitement de nos résultats sont l'indice de Shanonn-Weaver, Simpson, Hill ainsi que l'équitabilité (équirépartition).

a) Indice de Shanonn-Weaver :

Nous avons également exprimé des indices écologiques de structure comme l'indice de Shannon Weaver (H') et l'équitabilité (E). L'indice de Shannon Weaver (Dajet, 1976) tient compte de l'abondance mais aussi de la richesse spécifique et a l'avantage d'être indépendant de la taille de l'échantillon. L'indice de Shannon-Waever (H') ne se calcule donc pas par l'effectif total mais par la proportion de chaque individu p_i . Cet indice couramment utilisé présente une certaine sensibilité aux espèces rares.

Cet indice est défini comme étant la probabilité d'occurrence d'un événement. D'après Ramade (1984), l'indice de diversité de Shannon-Waever H' est calculé par la formule suivante :

$$H' = \sum P_i \log P_i$$

P_i : la fréquence relative de l'espèce ou $P_i = n_i / N$

n_i : nombre d'individus d'une espèce donnée.

N : nombre total d'individus.

Si tous les individus du peuplement appartiennent à une seule et même espèce, H' tend vers 0

L'indice est maximal quand tous les individus sont repartis d'une façon égale pour toutes les espèces (Frantier, 1983)

b) L'équitabilité :

L'indice d'équitabilité représente le rapport de l'indice de Shannon-Weaver H' à l'indice maximal théorique dans le peuplement (H'_{\max})

$$E = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

$H'_{\max} = \log_2 S$

S : la richesse spécifique

Cet indice peut varier entre 0 et 1, il est maximal lorsque chaque espèce est représentée par le même nombre d'individus, et il est minimal quand la quasi totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement (Ramade, 1984).

II.7.2. Méthode d'exploitation statistique des résultats :

Toute étude statistique peut être décomposée, au moins, en deux phases : le rassemblement ou la collecte des données, d'une part, et leur analyse ou leur interprétation, d'autre part. La statistique descriptive, elle peut être décomposée en deux étapes, l'une déductive ou descriptive et l'autre inductive.

La statistique descriptive a pour but de mesurer et de présenter les données observées d'une manière telle qu'on puisse en prendre connaissance aisément, par exemple sous la forme de tableaux ou de graphiques. L'inférence statistique permet d'étudier ou de généraliser dans

certaines conditions, les conclusions ainsi obtenues à l'aide de tests statistiques en prenant certains risques d'erreur qui sont mesurées en utilisant la théorie des probabilités. Concernant notre travail, tous les calculs ont été réalisés pour chaque variables et pour chacune des 4 expériences, à l'aide du logiciel d'analyse et de traitement statistique des données Minitab version 17 (X, 2003).

II.7.2.1. Méthodes statistiques Uni-variées :

Pour mieux décrire les différentes caractéristiques obtenues par expériences pour l'ensemble des 4 années d'études, avons calculés certains paramètres statistiques de base tels que la moyenne arithmétique (\bar{x}), qui est un paramètre de position et de tendance centrale, l'écart-type (s) qui mesure la dispersion des données autour de la moyenne, les valeurs minimales (x_{\min}) et maximales (x_{\max}) qui donnent toutes les deux une idée sur l'étendue des données, et enfin l'effectif (n) qui nous renseigne sur l'importance des données traitées.

a) Comparaison, entre expériences, des caractéristiques moyennes : test de l'analyse de la variance (ANOVA) :

Pour comparer, entre les 4 expériences, les moyennes de chacune des 5 familles et 18 espèces prélevées pendant les trois stades de développement (larve, pupa et adulte) lors des différents stades de décomposition cadavériques (frais, Gonflement, décomposition et squelettisation), nous avons utilisé le test d'analyse de la variance à un critère ou à un facteur de classification, modèle fixe. Ce test consiste à comparer les moyennes de plusieurs populations à partir de données d'échantillons aléatoires, simples et indépendants (Dagnélie, 1970 et 2006 in Mezedjri, 2008).

La réalisation du test se fait, soit en comparant la valeur de F_{obs} avec la valeur théorique F_{1-} correspondante, extraite à partir de la table F de Fisher pour un niveau de signification $\alpha=0,05$ ou 0,01 ou 0,001 et pour k_1 et k_2 degrés de liberté ; soit en comparant la valeur de la probabilité p avec toujours les différentes valeurs $\alpha=5\%$ ou 1% ou 0,1%.

Selon que cette hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée au niveau $\alpha=0,05$, 0,01 ou 0,001, on dit conventionnellement que l'écart observé entre les moyennes est significatif, hautement significatif ou très hautement significatif. On marque généralement ces écarts d'un, deux ou trois astérisques (Dagnélie, 1970 et 2006 in Mezedjri, 2008).

Ce test a été utilisé pour comparer, d'une part, entre les 4 expériences, les moyennes de chacune des 5 familles et 18 espèces pour chacun des stades de développement séparément

et, d'autre part, pour comparer entre les 4 expériences et les moyennes des familles et d'espèces pour les différents stades de décomposition cadavérique.

Les calculs sont réalisés à l'aide de la procédure GLM du logiciel Minitab (X, 2003).

b) Recherche de groupes d'expériences homogènes : méthode de la plus petite différence significative (*p.p.d.s.*)

Lorsqu'à l'issue d'un test d'analyse de la variance et pour des facteurs fixes, on est amené à rejeter l'hypothèse d'égalité de plusieurs moyennes, alors la question se pose de rechercher et de localiser les inégalités, ou en d'autres termes de rechercher quels sont les groupes de stations homogènes, pour telle ou telle caractéristiques mesurée.

De nombreuses solutions ont été proposées pour répondre ou tenter de répondre à cette question (Dagnélie, 1970 et 2006 in Mezedjri, 2008).

Ces solutions sont groupées sous l'appellation générale de méthodes de comparaisons particulières et multiples de moyennes. Le choix entre les différentes approches est très largement fonction de la nature quantitative ou qualitative, des facteurs considérés, et de l'objectif qui a été fixé, ou qui aurait dû être fixé, au moment où la collecte des données a été décidée.

Parmi ces méthodes figure celle appelée la méthode de la plus petite différence significative ou *p.p.d.s.* qui s'applique en une seule étape et qui est, de ce fait, d'une utilisation très facile. Dans le cas le plus simple, son principe est de calculer la quantité :

$$t_{1-\alpha/2} \sqrt{2CM_r/n}$$

On considère tous les couples de moyennes (x_i, x_i'), et on conclue que les moyennes dont les différences ($x_i - x_i'$), atteignent ou dépassent cette limite, en valeur absolue, sont significativement inégales.

La valeur $t_{1-\alpha/2}$ est relative à la distribution t de Student pour un niveau de signification $\alpha=0,05$, et dont le nombre de degrés de liberté k est celui du carré moyen résiduel (CMr) qui a servi de base de comparaison lors de l'analyse de la variance, et (n) représente le nombre de données ayant permis de calculer chacune des moyennes (Dagnélie, 2000 et 2006 in Mezedjri, 2008).

Les résultats obtenus sont généralement présentés sous forme de moyennes soulignées. Les soulignements correspondant à des moyennes ou des groupes de moyennes qui ne sont pas significativement différentes les unes des autres.

En ce qui nous concerne, et ceci dans le cas uniquement de la matrice de données globale des 4 expériences, chaque fois que l'égalité de plusieurs moyennes a été rejetée par l'analyse de la variance pour un facteur fixe, nous avons utilisé la méthode de la *p.p.d.s*. Par cette méthode nous avons tenté de déterminer les groupes de moyennes qui sont identiques ou en d'autres termes les groupes d'expériences (famille, espèces), qui sont aussi homogènes que possibles (Dagnélie, 2006).

II.7.2.2. Méthodes Statistiques Multi-variées :

a) Recherche de classes d'expériences homogènes : analyse hiérarchique ou classification hiérarchique :

La recherche de groupes ou de classes des expériences homogènes peut également se faire par ce qu'on appelle la classification hiérarchique. Plusieurs méthodes sont proposées par Dagnélie (1986) pour atteindre ce but.

Cependant, nous n'utiliserons que celle qui est proposée par Bouroche et Saporta (1980) et qui est reprise par Palm (2000) et Dagnélie (2006) et dont l'algorithme est programmé dans le logiciel Minitab17 (X, 2003).

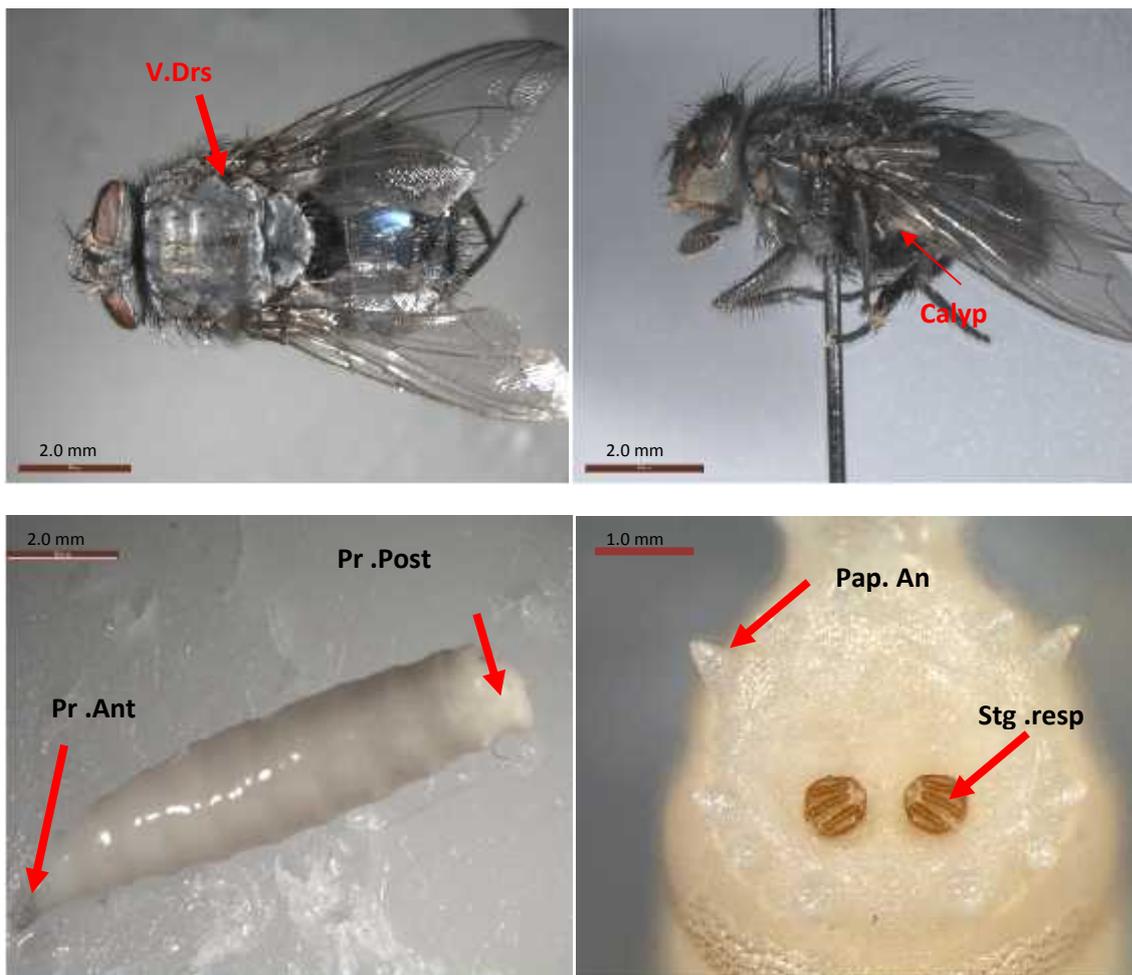
Chapitre III : Résultats

III.1. Structure de la faune nécrophage :

Durant la période d'expérimentation, 5823 spécimens ont été prélevés et capturés, les Diptères nécrophages observés et identifiés sur les carcasses appartiennent à plusieurs familles. Etant donné le nombre important de spécimens prélevés durant la période d'expérimentation et la non disponibilité de clés d'identifications adaptées à toutes les familles retrouvées, une part des spécimens n'a pu être identifiée jusqu'à l'espèce.

III.1.1. Composition des Diptères nécrophages:

Le prélèvement des échantillons a révélé la présence de 18 espèces (Fig. 24, 25, 26, 27, 28 et 29) dont 5 identifiées jusqu'au genre, ces espèces recensées appartenant à 5 familles : les Calliphoridae avec trois sous familles (Calliphorinae, Luciliinae et Chrysomiinae), les Muscidae, les Scaphophagidae ainsi que les Fanniidae et les Piophilidae (Tab.5).



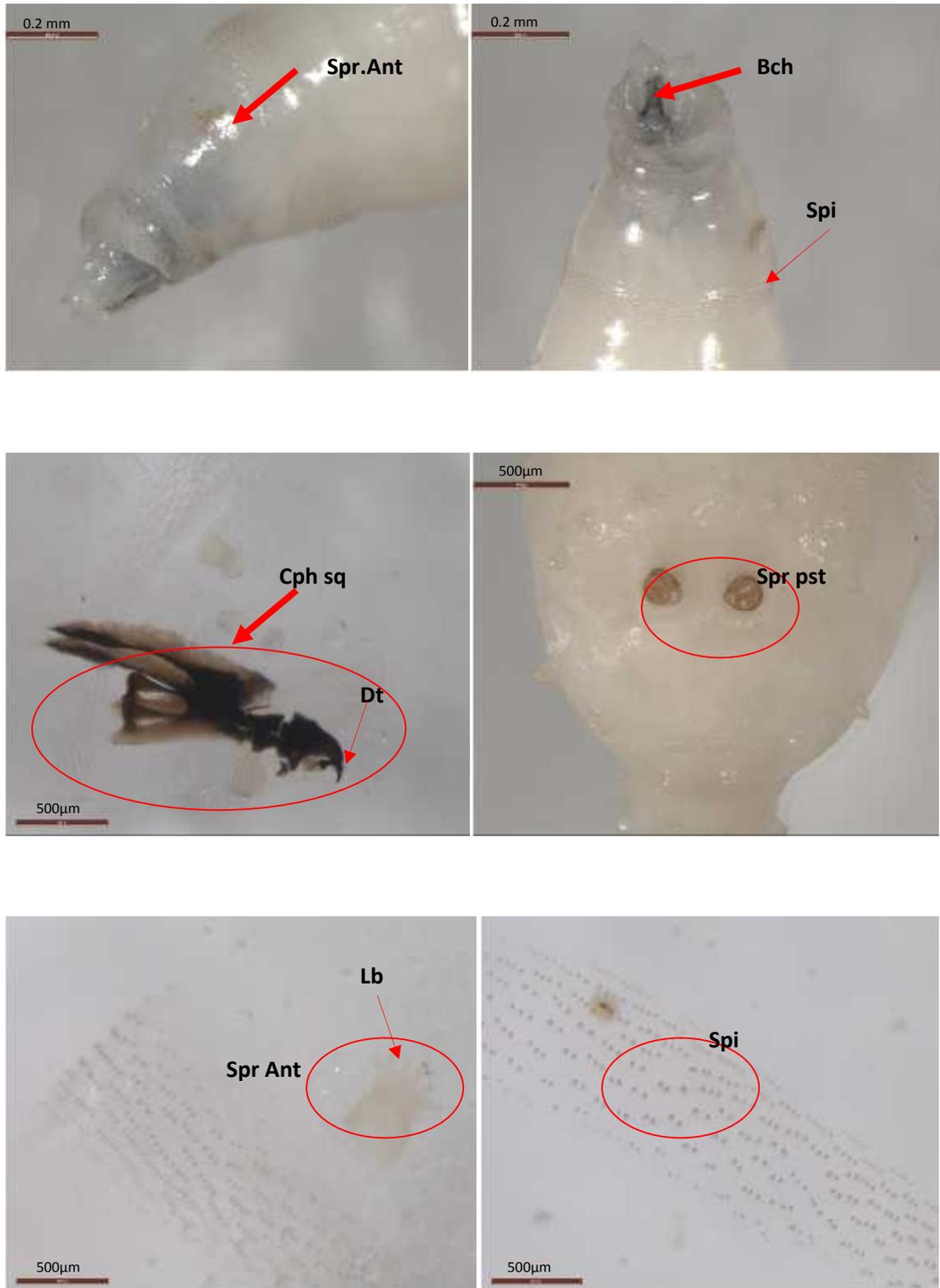


Fig.24 : Caractères morphologiques utilisés dans l'identification de l'espèce

Calliphora vicina (Photos originales).

V.Drs : Vue dorsale ; **Calyp** : Calyptère ; **Pr. Post** : Partie postérieure ; **Pr. Ant** : Partie antérieure ; **Pap.An** : Papille anale ; **Stg.Resp** : Stigmate respiratoire ; **Bch** : Bouche ; **Spr. Ant** : Spiracle Antérieure ; **Spr.Post** : Spiracle postérieure ; **Cphsq** : Céphalosquelette ; **Spi** : Spinulation ; **Dt** : Dent ; **Lb** : Lobe

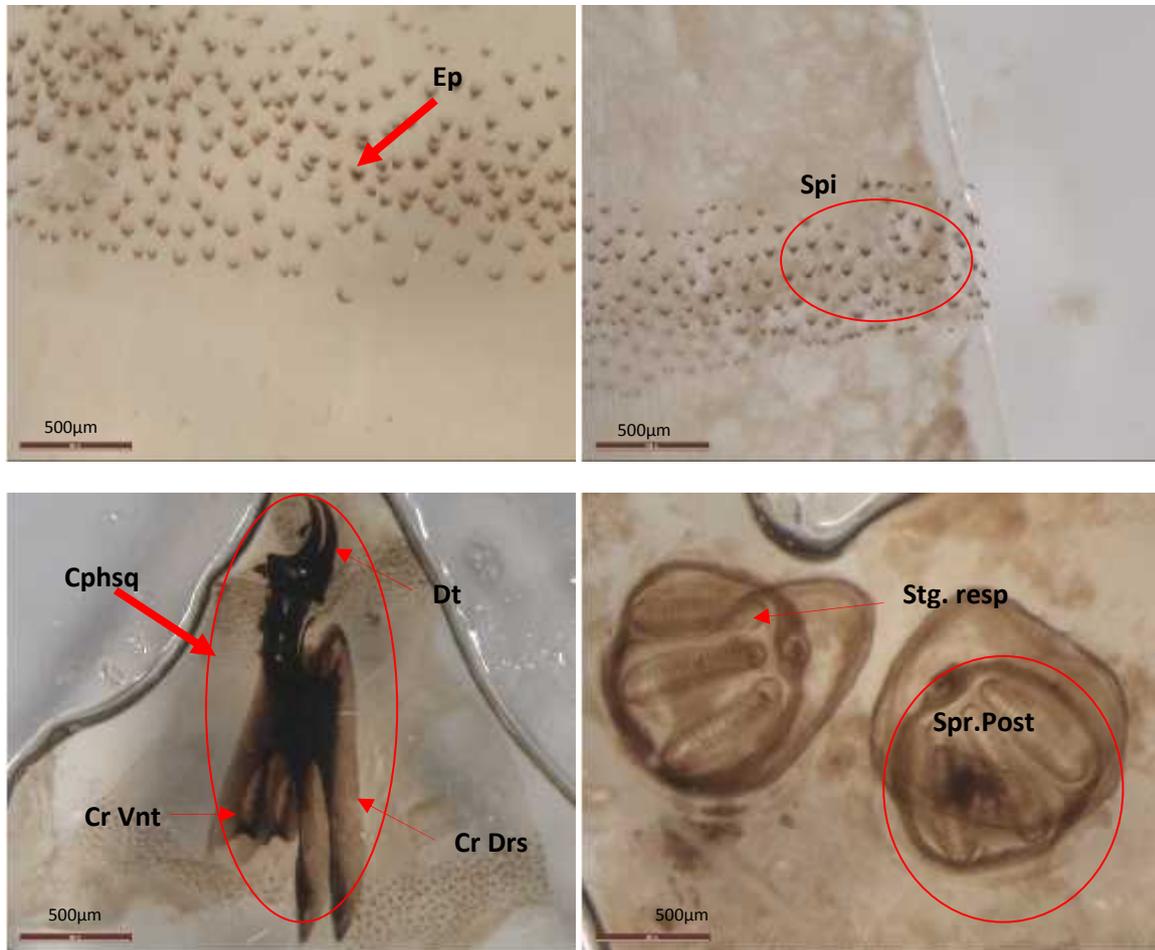


Fig.25 : Caractères morphologiques utilisés dans l'identification de l'espèce *Calliphora vomitoria* (Photos originales).

Stg.Resp : Stigmate respiratoire ; **Spr.Post** : Spiracle postérieure ; **Cphsq** : Céphalosquelette ; **Spi** : Spinulation ; **Cr.Vnt** : Cornu ventrale ; **Cr. Drs** : Cornu dorsale ; **Dt** : Dent ; **Ep** : Epine

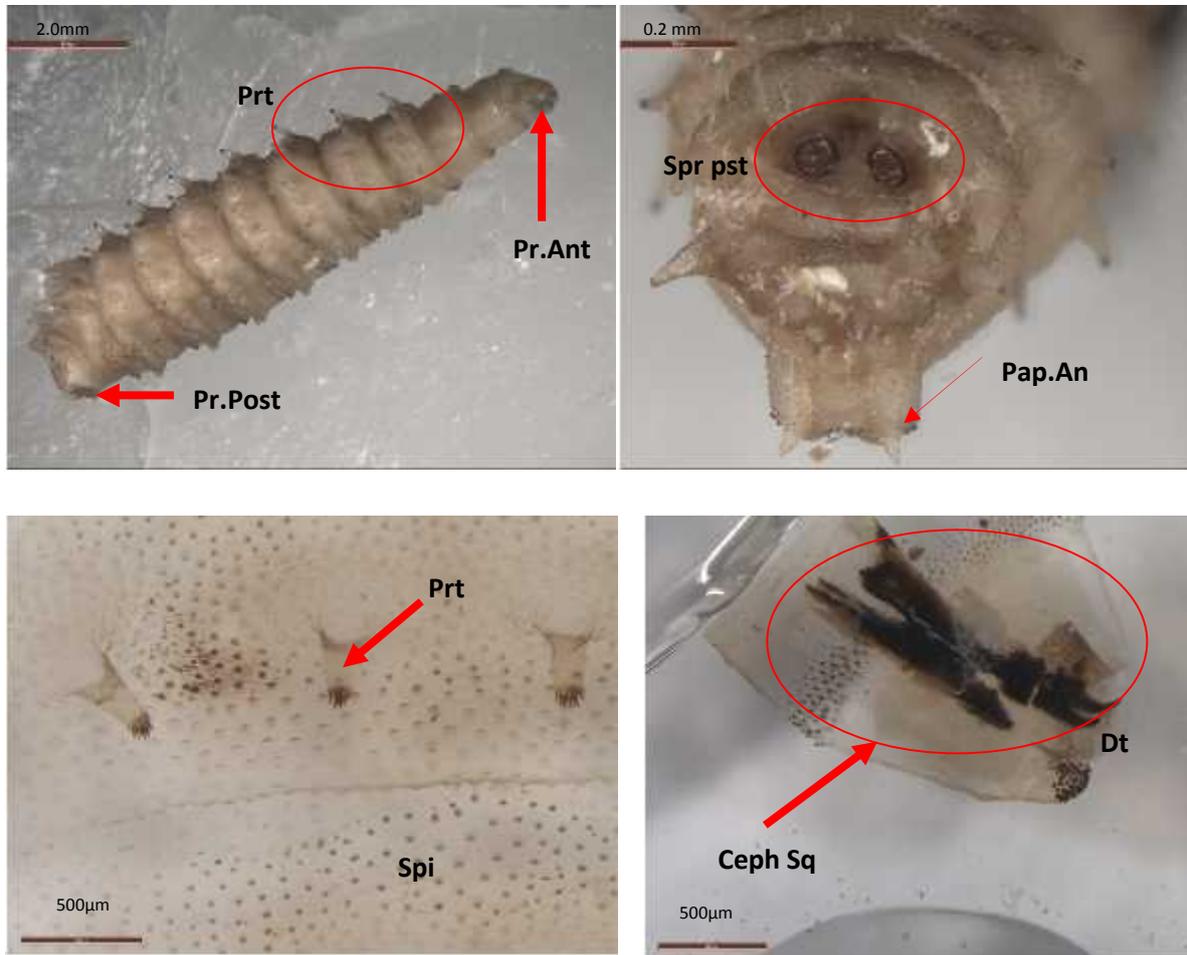
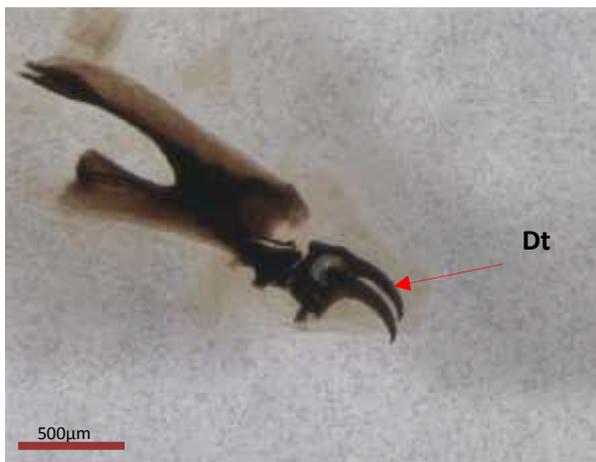
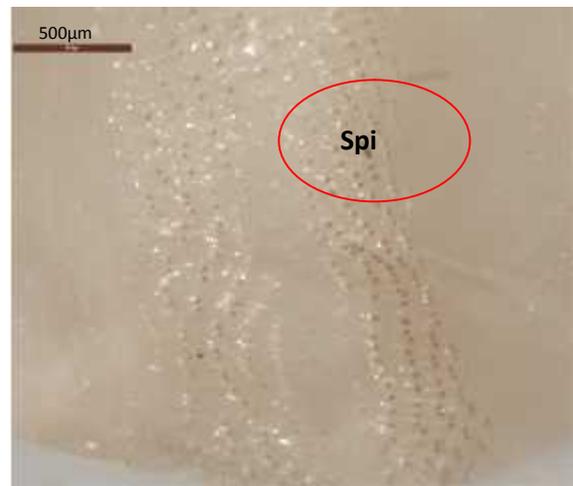
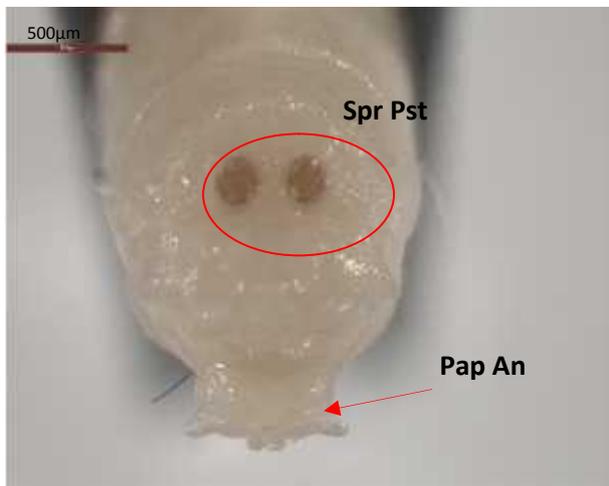
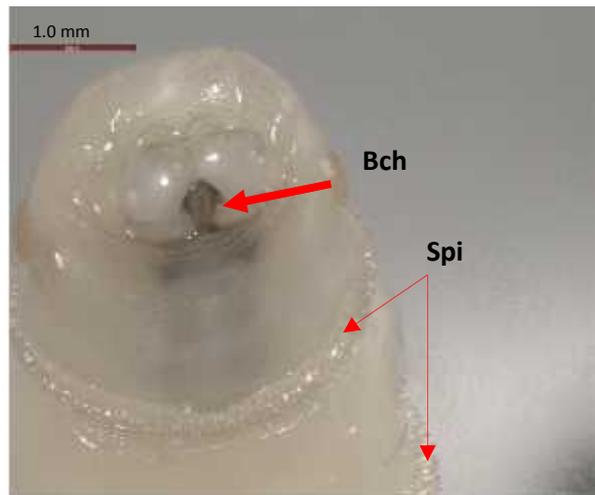
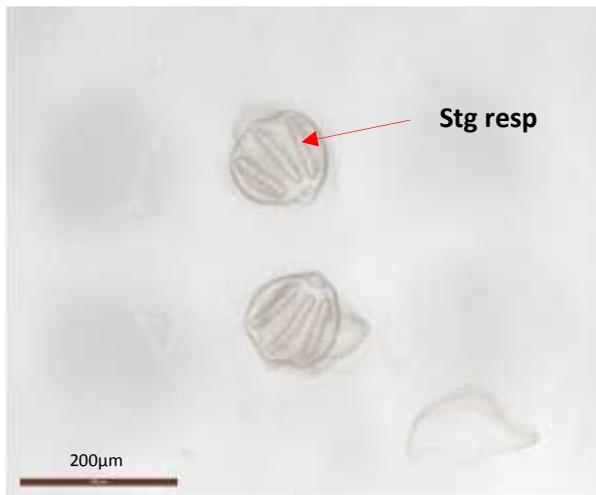


Fig.26 : Caractères morphologiques utilisés dans l'identification de l'espèce *Chrysomia albiceps*(Photos originales).

Pr. Post : Partie postérieure ; **Prt** : Protubérance ; **Pr. Ant** : Partie antérieure ; **Pap.An** : Papille anale ;
Stg.Resp : Stigmate respiratoire ; **Cphsq** : Céphalosquelette ; **Spi** : Spinulation ; **Dt** : Dent ;



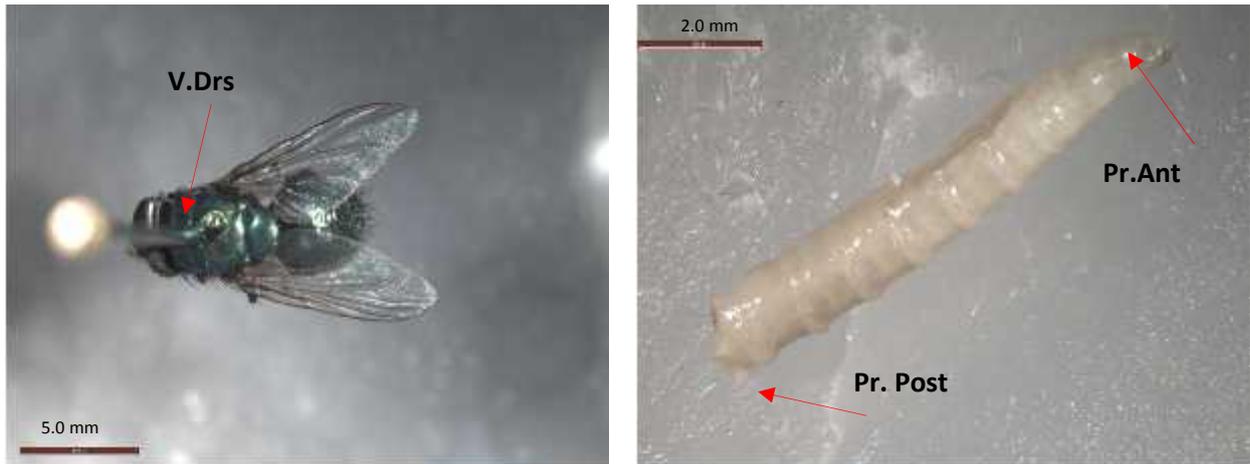
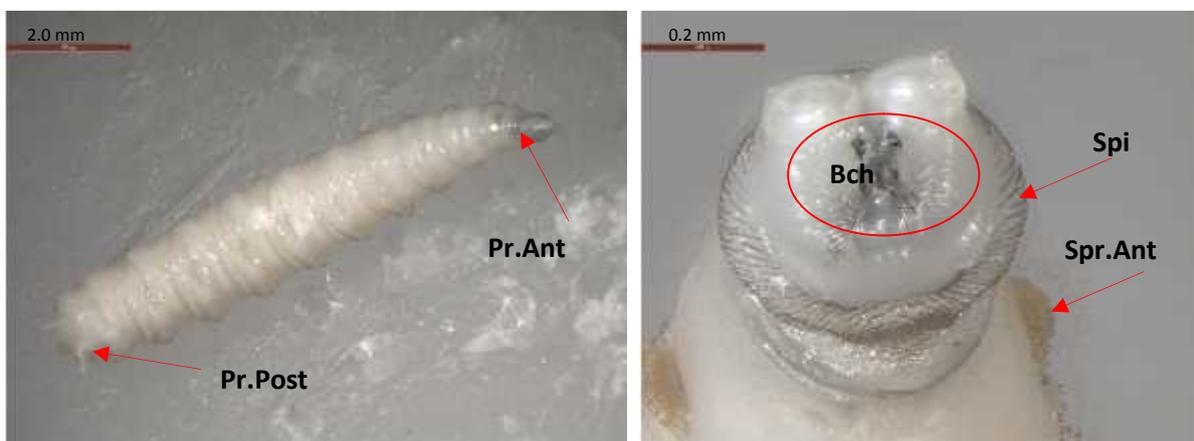
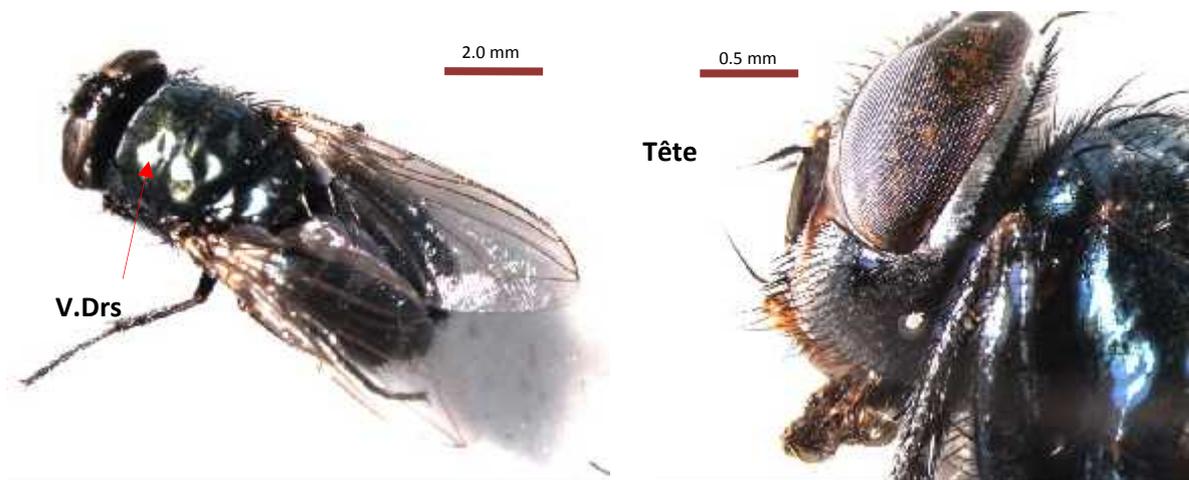


Fig.27 : Caractères morphologiques utilisés dans l'identification de l'espèce

Lucilia Sericata (Photos originales).

V.Drs : Vue drsale ; **Calyp** : Calyptère ; **Pr. Post** : Partie postérieure ; **Pr. Ant** : Partie antérieure ; **Pap.An** : Papille anale ; **Stg.Resp** : Stigmate respiratoire ; **Bch** : Bouche ; **Spr. Ant** : Spiracle Antérieure ; **Spr.Post** : Spiracle postérieure ; **Cphsq** : Céphalosquelette ; **Spi** : Spinulation ; **Dt** : Dent ; **Lb** : Lobe



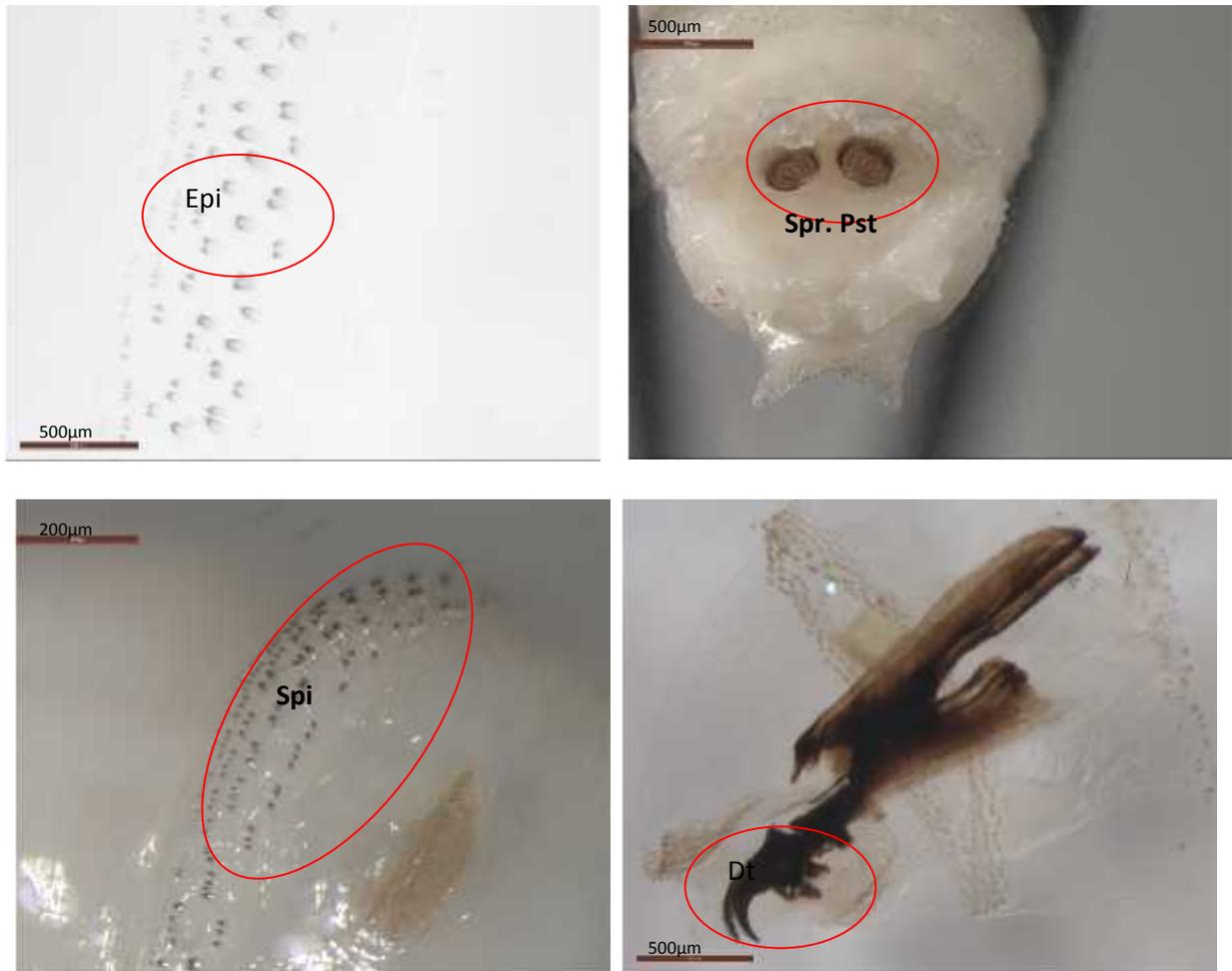


Fig.28 : Caractères morphologiques utilisés dans l'identification de l'espèce

***Phormia regina* (Photos originales).**

V.Drs : Vue drsale ; **Pr. Post** : Partie postérieure ; **Pr. Ant** : Partie antérieure ; **Pap.An** : Papille anale ; **Stg.Resp** : Stigmate respiratoire ; **Bch** : Bouche ; **Spr. Ant** : Spiracle Antérieure ; **Spr.Post** : Spiracle postérieure ; **Cphsq** : Céphalosquelette ; **Spi** : Spinulation ; **Dt** : Dent

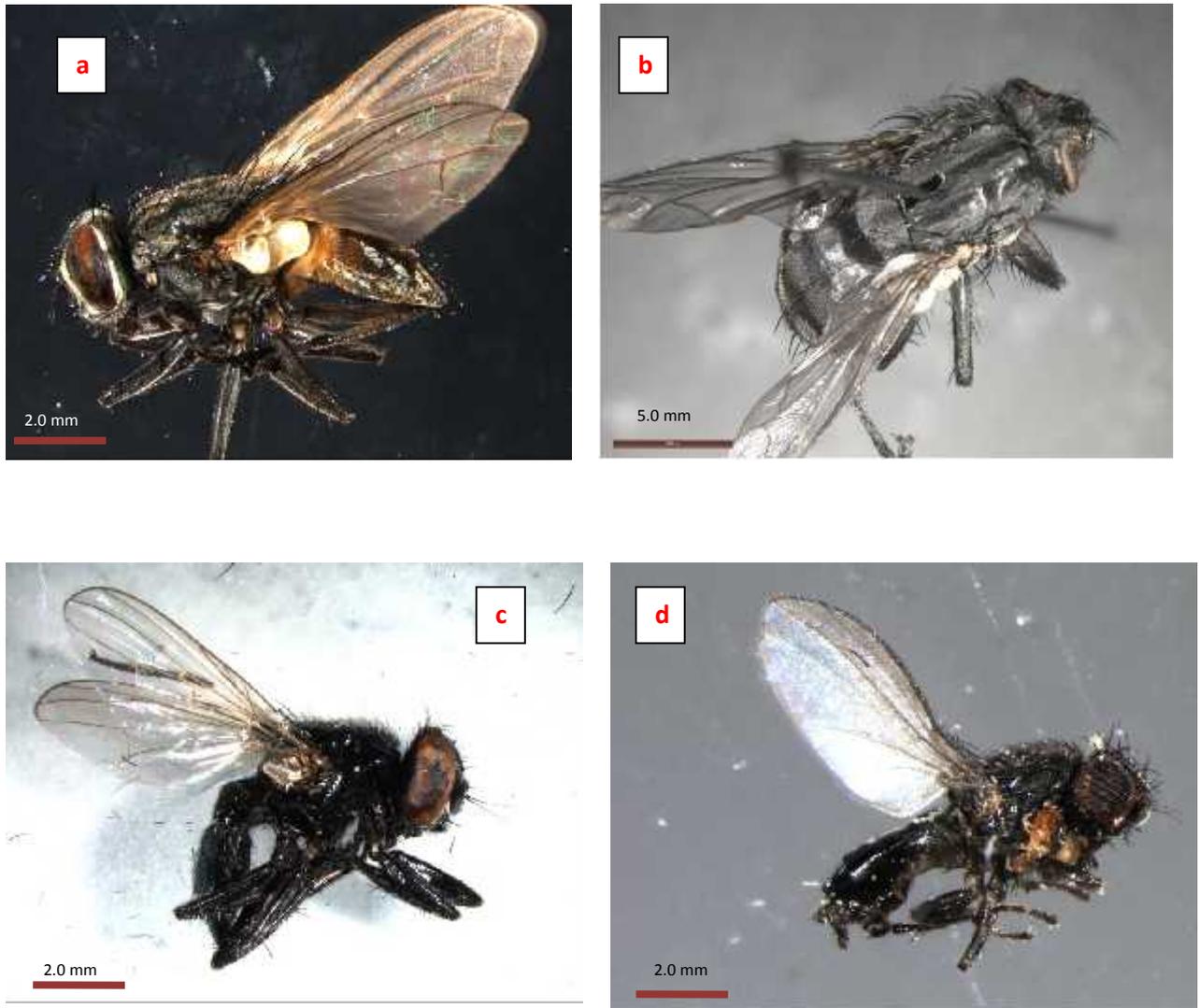


Fig.29 : Photographie des adultes de quelques espèces : (a) *Musca domestica*, (b) *Sarcophaga africa*, (c) *Fannia sp*, (d) *Piophilila casei* (Photos originale).

Tab.5 : Liste des espèces de Diptères nécrophages inventoriées dans les quatre expériences.

Ordre : Diptera	
Famille : Calliphoridae	Famille : Muscidae
Espèce : <i>Calliphora vicina</i> (Robineau-Desvoidy, 1830) <i>Calliphora vomitoria</i> (Linnaeus, 1758) <i>Lucilia illustris</i> (Meigen, 1826) <i>Lucilia sericata</i> (Meigen, 1826) <i>Phormia regina</i> (Meigen, 1826) <i>Chrysomya albiceps</i> (Wiedemann, 1819)	Espèce : <i>Musca domestica</i> (Linnaeus, 1758) <i>Hydrotaea capensis</i> (Wiedemann, 1818) <i>Muscina stabulans</i> (Fallen, 1817) <i>Musca sp</i> <i>Muscina sp</i>
	Famille : Fanniidae
Famille : Sarcophagidae	Espèce : <i>Fannia canicularis</i> (Linnaeus, 1761) <i>Fannia sp</i>
Espèce : <i>Sarcophaga africa</i> (Wiedemann, 1824) <i>Sarcophaga carnaria</i> (Linnaeus, 1758) <i>Sarcophaga sp</i>	Famille : Piophilidae
	Espèce : <i>Piophila casei</i> (Linnaeus, 1758) <i>Piophila sp</i>

La composition faunistique global des Diptères nécrophages prélevés durant notre période d'étude est illustrée dans le tableau 6.

Tab.6 : Résultats globale de récoltes et de captures des Diptères Nécropages

Expérimentations	Familles	Nbre des larves	Nbre des Pupes	Nbre des adultes	Total
Dog 1	Calliphoridae	851	43	202	1096
	Sarcophagidae	0	0	48	48
	Muscidae	253	27	36	316
	Fanniidae	0	0	0	0
	Piophilidae	0	0	63	63
Rab1	Calliphoridae	416	39	174	629
	Sarcophagidae	0	0	0	0
	Muscidae	12	0	32	44
	Fanniidae	0	0	9	9
	Piophilidae	0	0	7	7
Dog2	Calliphoridae	2729	58	177	2964
	Sarcophagidae	0	0	35	35
	Muscidae	11	4	83	98
	Fanniidae	0	0	29	29
	Piophilidae	0	0	0	0
Rab2	Calliphoridae	255	56	77	388
	Sarcophagidae	0	0	19	19
	Muscidae	0	0	57	57
	Fanniidae	0	0	13	13
	Piophilidae	0	0	8	8
Total		4527	227	1069	5823

L'examen des résultats du tableau.6, montre que la famille des Calliphoridae domine largement dans l'ensemble des prélèvements des larves, des pupes et la captures des adultes avec un taux de 87%, suivi par la famille des Muscidae avec 9%, les familles des Sarcophagidae, Fanniidae et Piophilidae représentent des taux de 2%, 1%, 1% respectivement (Fig.30)

La récolte des larves dans les 4 expériences montrent que la quasi-totalité appartient à la famille des Calliphoridae (Dog1 avec 851 spécimens, Rab 2 avec 416, Dog2 avec 2729 et Rab 2 avec 255) (Fig.31).

La récolte des pupes montre que presque tous les spécimens appartiennent à la famille des Calliphoridae, à l'exception des expériences Dog1 et Dog2 là où il y a présence de pupes qui appartiennent à la famille des Muscidae (Fig.32).

Il en est de même pour les adultes qui présentent une dominance par rapport aux autres familles (Fig.33).

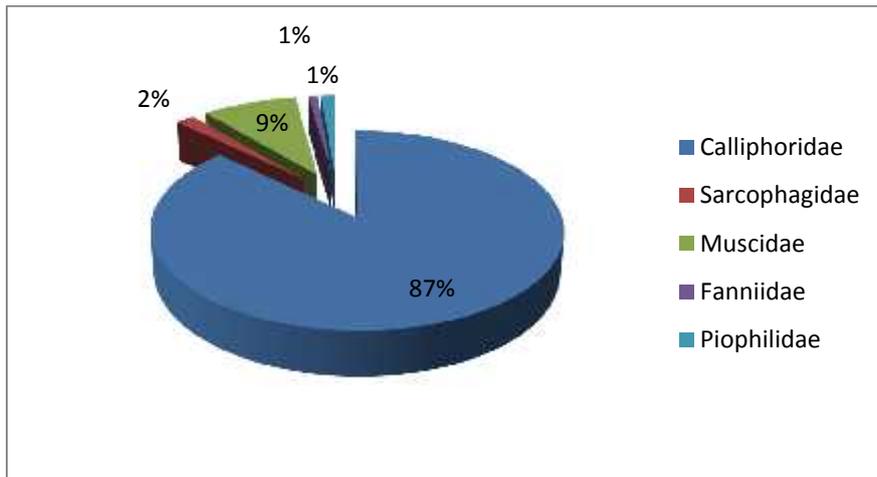


Fig.30 : Pourcentage globale des familles recensées sur les cadavres

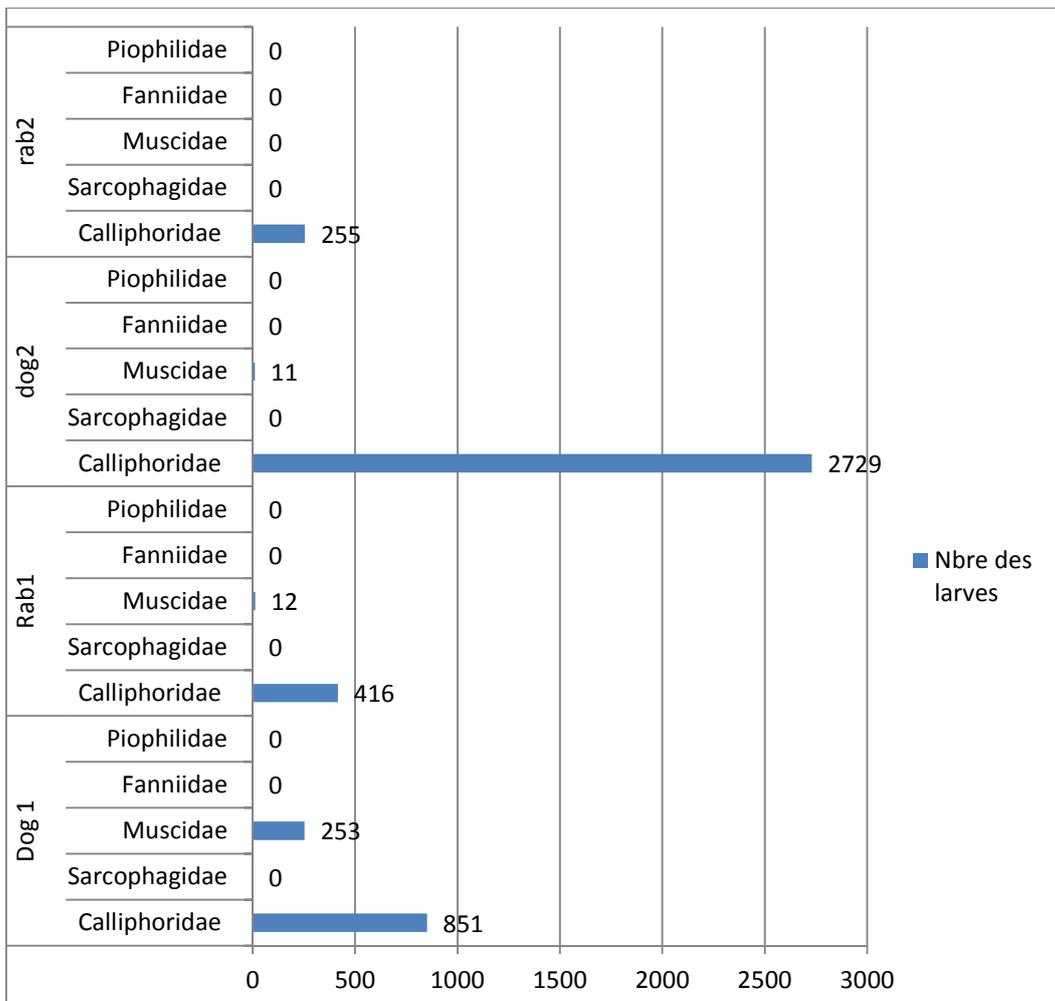


Fig.31 : Nombre total des larves prélevées lors de la période d'étude.

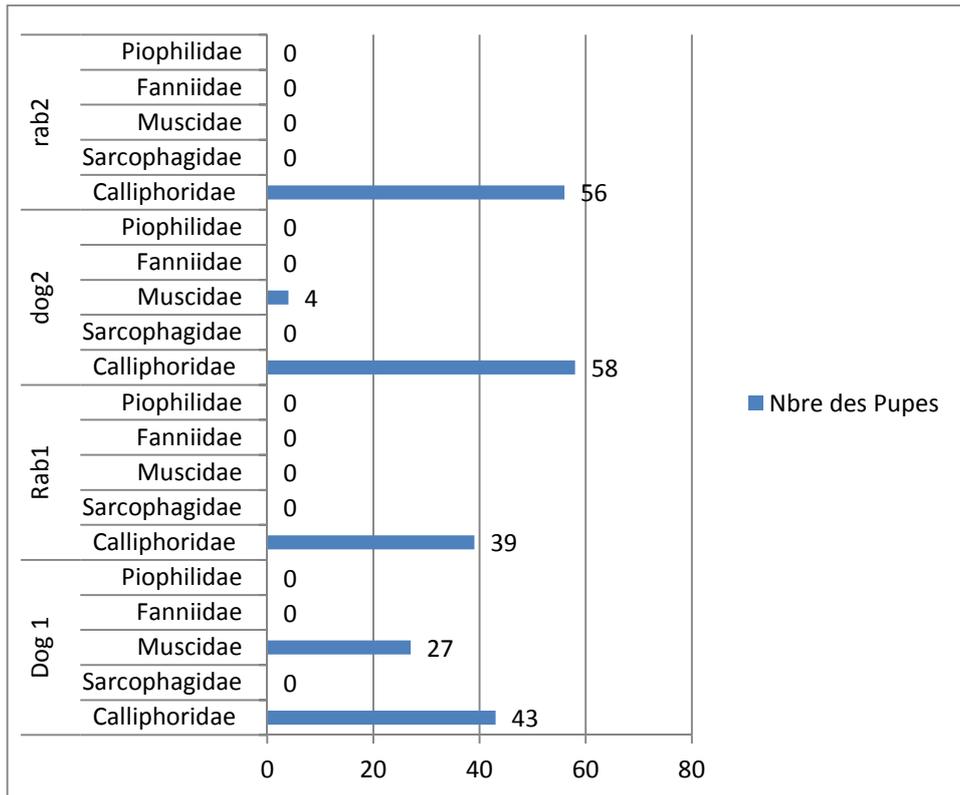


Fig.32 : Nombre total des pupes prélevées lors de la période d'étude.

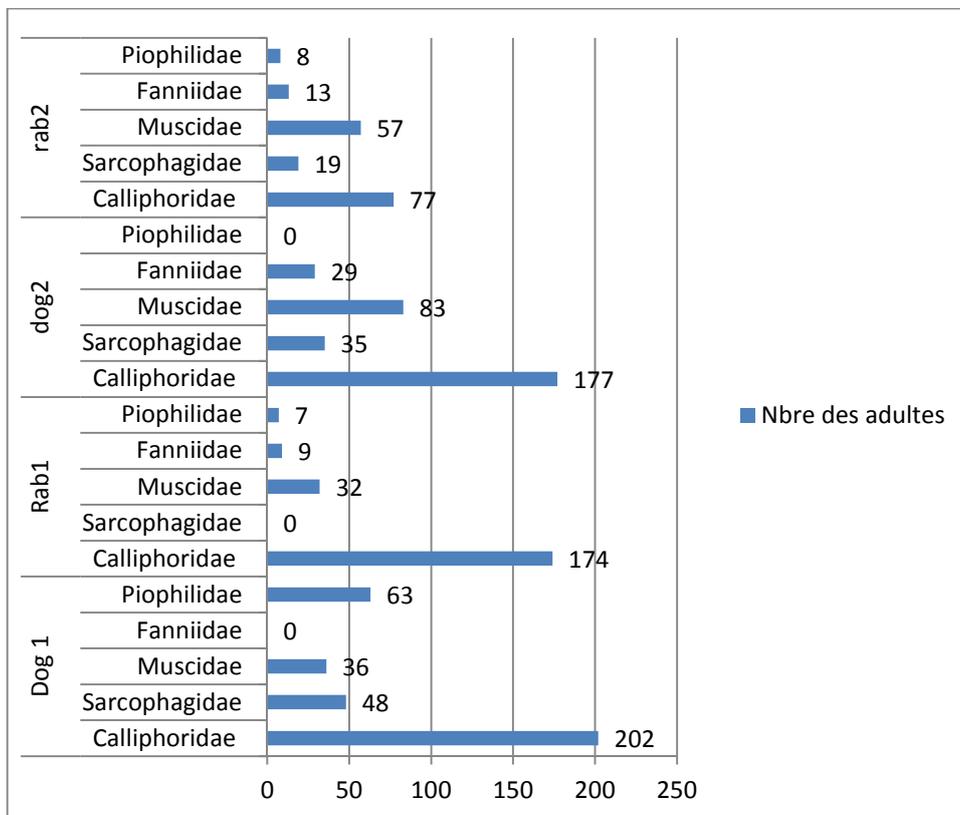


Fig.33 : Nombre total des adultes capturés lors de la période d'étude.

III.2. Analyse de la faune des Diptères nécrophages par des indices écologiques :

III.2.1. Analyse des résultats des expérimentations par des indices écologiques de composition :

III.2.1.1. Richesse spécifique :

Les valeurs de la richesse spécifique dans les quatre expériences sont données dans le tableau7.

Tab.7 : Distribution de la richesse spécifique dans les 4 expérimentations.

Expériences	Dog1	Rab1	Dog2	Rab 2
Richesse spécifique (S)	12	8	11	11
Richesse spécifique globale (Stot)	18			

Les résultats portés dans le tableau7, montrent que la richesse spécifique maximale des espèces de Diptères nécrophages est observée dans l'expérience « Dog1 » avec 12 espèces suivi par les expériences Dog2 et Rab2 avec 11 espèces.

La richesse spécifique globale dans les 4 expériences est de 18 espèces.

III.2.1.2. L'abondance relative :

Les résultats de l'abondance relative des différentes espèces (larves, pupes et adultes) récoltées pendant notre étude sont représentés dans le tab.8.

Tab.8 : Abondance relative des espèces récoltées

Espèces	Ni	C %
<i>Calliphora vicina</i>	2857	49,06
<i>Lucilia sericata</i>	877	15,06
<i>Lucilia illustris</i>	500	8,59
<i>Calliphora vomitoria</i>	660	11,33
<i>Phormia regina</i>	125	2,15
<i>Chrysomia albiseps</i>	58	1,00
<i>Musca domestica</i>	126	2,16
<i>Musca sp</i>	180	3,09
<i>Hydrotaea capensis</i>	34	0,58
<i>Muscina stabulans</i>	77	1,32
<i>Muscina sp</i>	98	1,68
<i>Sarcophaga africa</i>	32	0,55
<i>Sarcophaga sp</i>	69	1,18
<i>sarcophaga carnaria</i>	1	0,02
<i>Piophilha casei</i>	53	0,91

<i>Piophila sp</i>	25	0,43
<i>Fannia canicularis</i>	9	0,15
<i>Fannia sp</i>	42	0,72
Total	5823	100,00

N_i : Nombre d'individus de l'espèce prise en considération.

C : Abondance relative.

Les résultats globaux des espèces récoltées cumulé dans le tableau 8 montrent que les valeurs de l'abondance relative varient d'une espèce à l'autre selon leurs effectifs. Nous remarquons que l'espèce la plus fréquente est *C.vicina* avec un taux de 49.06%, puis vient en seconde position *L.sericata* avec 15.06% suivies par *C.vomitorea* avec 11.33 puis *L.illistis* avec 8.59% ; *Musca sp*, *M.domestica* et *Ph regina* avec respectivement des taux de 3.09%, 2.16% et 2.15%. Les autres espèces qui restent sont faiblement représentées avec des taux compris entre 1.68% et 0.02% pour l'espèce *S.carnarira* qui est représenté par un seul spécimen.

III.2.2. Analyse des résultats des expérimentations par des indices écologiques de structure :

III.2.2.1. L'indice de diversité de Shannon-Waever et d'équitabilité :

Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon-Waever (H'), de la diversité maximale et de l'équitabilité appliquées aux espèces sont rapportées dans tableau 9.

Tab.9 : Indice de diversité basé sur le nombre d'individus des différentes espèces

Espèces	N_i	P_i	$\text{Log}_2 P_i$	$P_i \text{Log}_2 P$
<i>Calliphora vicina</i>	2857	0,491	-0,712	-0,349
<i>Lucilia sericata</i>	877	0,151	-1,893	-0,285
<i>Lucilia illustris</i>	500	0,086	-2,455	-0,211
<i>Calliphora vomitoria</i>	660	0,113	-2,177	-0,247
<i>Phormia regina</i>	125	0,021	-3,841	-0,082
<i>Chrysomya albiseps</i>	58	0,010	-4,609	-0,046
<i>Musca domestica</i>	126	0,022	-3,833	-0,083
<i>Musca sp</i>	180	0,031	-3,477	-0,107
<i>Hydrotaea capensis</i>	34	0,006	-5,143	-0,030
<i>Muscina stabulans</i>	77	0,013	-4,326	-0,057
<i>Muscina sp</i>	98	0,017	-4,085	-0,069
<i>Sarcophaga africa</i>	32	0,005	-5,204	-0,029
<i>Sarcophaga sp</i>	69	0,012	-4,435	-0,053
<i>sarcophaga carnaria</i>	1	0,000	-8,670	-0,001
<i>Piophila casei</i>	53	0,009	-4,699	-0,043
<i>Piophila sp</i>	25	0,004	-5,451	-0,023

<i>Fannia canicularis</i>	9	0,002	-6,472	-0,010
<i>Fannia sp</i>	42	0,007	-4,932	-0,036
Total	5823	1,000	-76,414	-1,761
H'		1,761		
H' _{max}		2,890		
E		0,61		

N_i : L'effectif de chaque espèce

E : l'indice d'équitabilité

H' : l'indice de Shannon

H' _{max} : la diversité maximale

P_i : l'abondance relative de l'espèce prise est considération

La valeur de l'indice de Shannon-Waever est de 1.76 bits, elle est proche de la diversité maximale qui est égale à 2.89 bits, cela explique que la population des Diptères nécrophages récoltes durant notre période d'étude dans les quatre expériences est diversifiée.

La valeur de l'équitabilité de 61% (Tab.9) indique que la population est peu équilibrée, cela est expliqué par la dominance de quelques espèces dans l'ensemble des captures.

III.3. Analyse statistique des résultats :

III.3.1. Etude de la relation de température du corps et de l'environnement avec les stades de décomposition :

La prise des températures corporelles effectuée au niveau les orifices naturelles, des lésions du corps et celle de l'environnement lors des différents stades de décomposition cadavérique des trois expériences (Rab1, Dog2 et Rab2) (Annexe 1), nous à permis d'étudier la relation qui existe entre ces paramètres et la décomposition des différents cadavres.

Notons que pour la première expérience (Dog1), on n'a pas pu prendre la température corporelle vu l'indisponibilité d'un thermomètre spéciale au début de notre expérimentation.

III.3.1.1. Analyse uni-variée

a) Analyse de la variance ANOVA :

- Expériences Rab1 :

Tab.10 : Modèle linéaire général : T° corps (°c) en fonction des Stades de décomposition :

Source	DL	SCE ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Stades de décomposition	3	352,2	117,41	6,41	<u>0,001***</u>
Erreur	37	678,0	18,32		
Total	40	1030,2			

DDL : degrés de liberté

SCE : somme des carrés des écarts

CM : carré moyen = SCE/ DDL

F : valeur de la variable de F de FISHER = CM différences entre expériences / CM valeur résiduelle

P : la probabilité de mettre en évidence des différences significatives

(p = 0,001 : (***) différences très hautement significatives).

Les résultats issus de l'analyse de la variance montrent qu'il y a une différence très hautement significative, p = 0,001 qui est < 0,05, entre les températures prises au niveau du corps du lapin (Rab1) durant les différentes phases de la décomposition cadavérique (Fig.33).

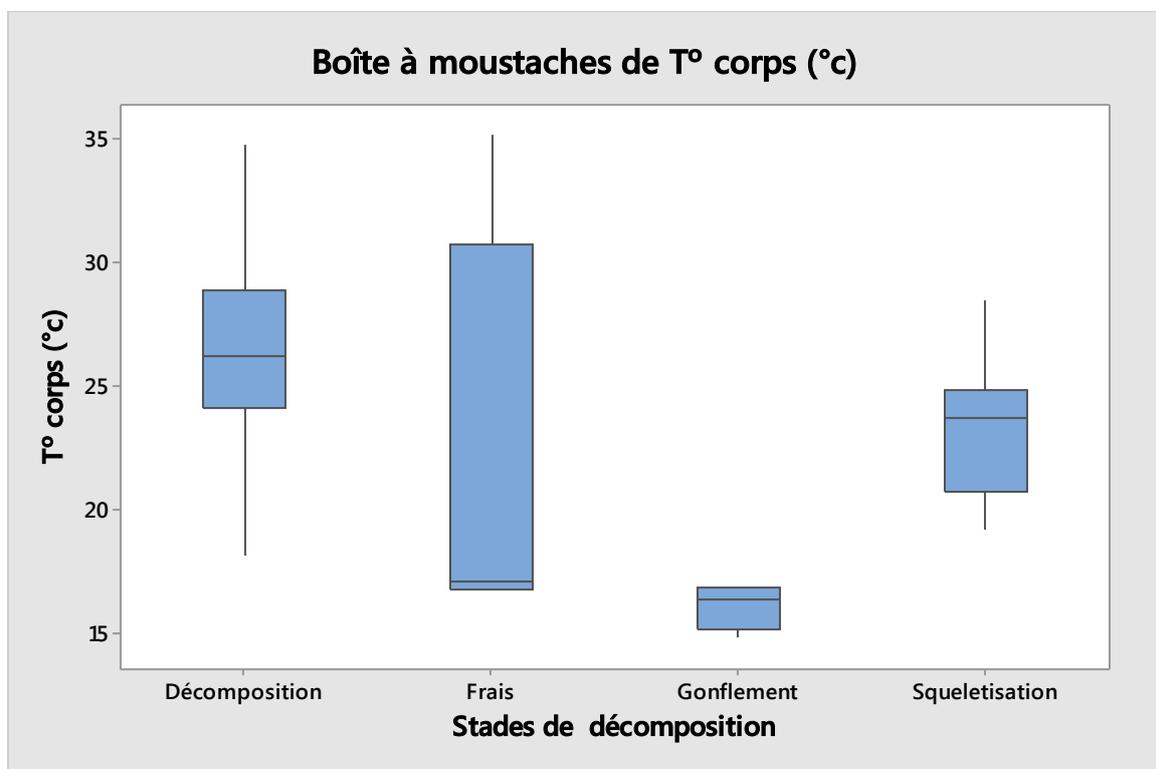


Fig.33 : Boîte à moustache montre les écarts entre les moyennes des températures du corps dans les différents stades de décomposition.

Tab.11 : Modèle linéaire général : T° moy de l'environnement (°C) en fonction des Stades de décomposition :

Source	DL	ajust	CM ajust	Valeur F	de p
Stades de décomposition	3	144,69	48,231	20,23	0,000***
Erreur	37	88,21	2,384		
Total	40	232,90			

(p = 0,001 : (***) différences très hautement significatives).

Les résultats issus de l'analyse de la variance montrent qu'il y a une différence très hautement significatives, $p = 0,001$ qui est $< 0,05$, entre les températures moyenne du milieu où le cadavre lapin (Rab1) est déposé durant les différentes phases de la décomposition cadavérique (Fig.34).

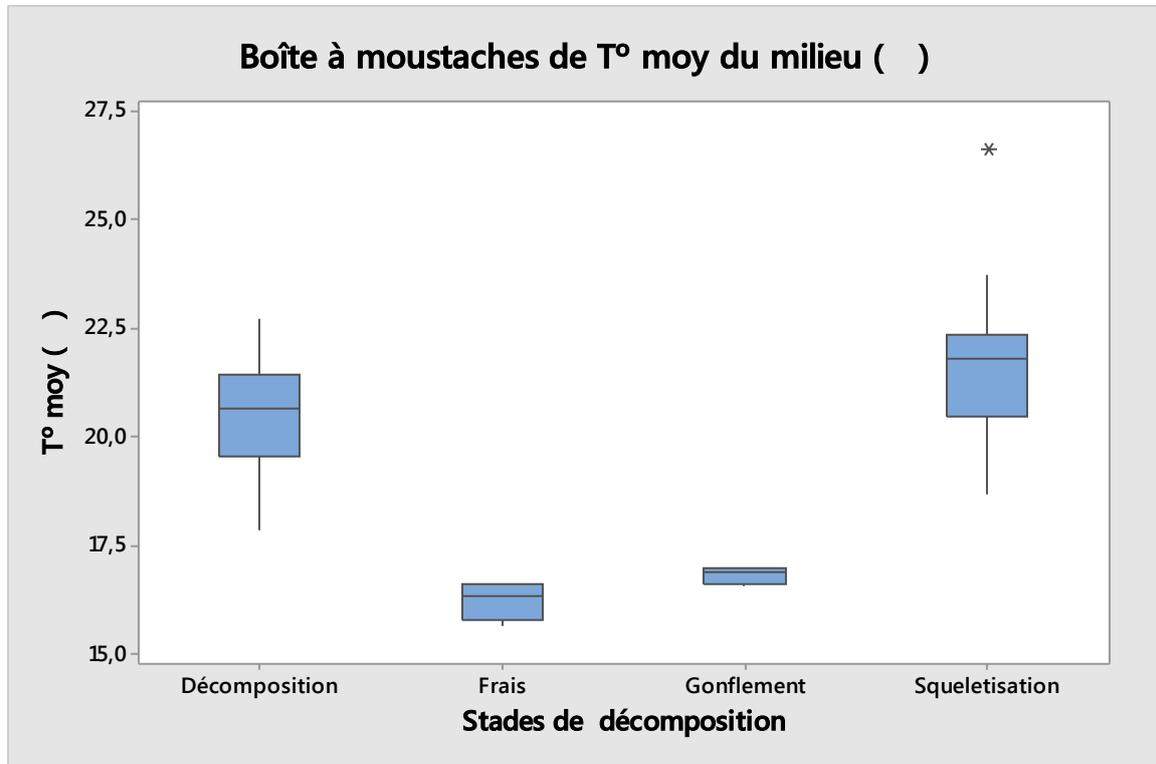


Fig. 34 : Boîte à moustache montre les écarts entre les moyennes des températures du milieu dans les différents stades de décomposition.

- Expériences Dog 2 :

Tab.12 : Modèle linéaire général : T° corps (°C) en fonction des Stades de décomposition :

Source	DL	ajust	CM ajust	Valeur F	de p
Stades de décomposition	3	641,5	213,84	15,38	<u>0,000***</u>
Erreur	43	598,0	13,91		
Total	46	1239,5			

($p = 0,001$: (***) différences très hautement significatives).

Les résultats issus de l'analyse de la variance montrent qu'il y a une différence très hautement significatives, $p = 0,001$ qui est $< 0,05$, entre les températures prises au niveau du corps du chien (Dog2) durant les différentes phases de la décomposition cadavérique (Fig.35).

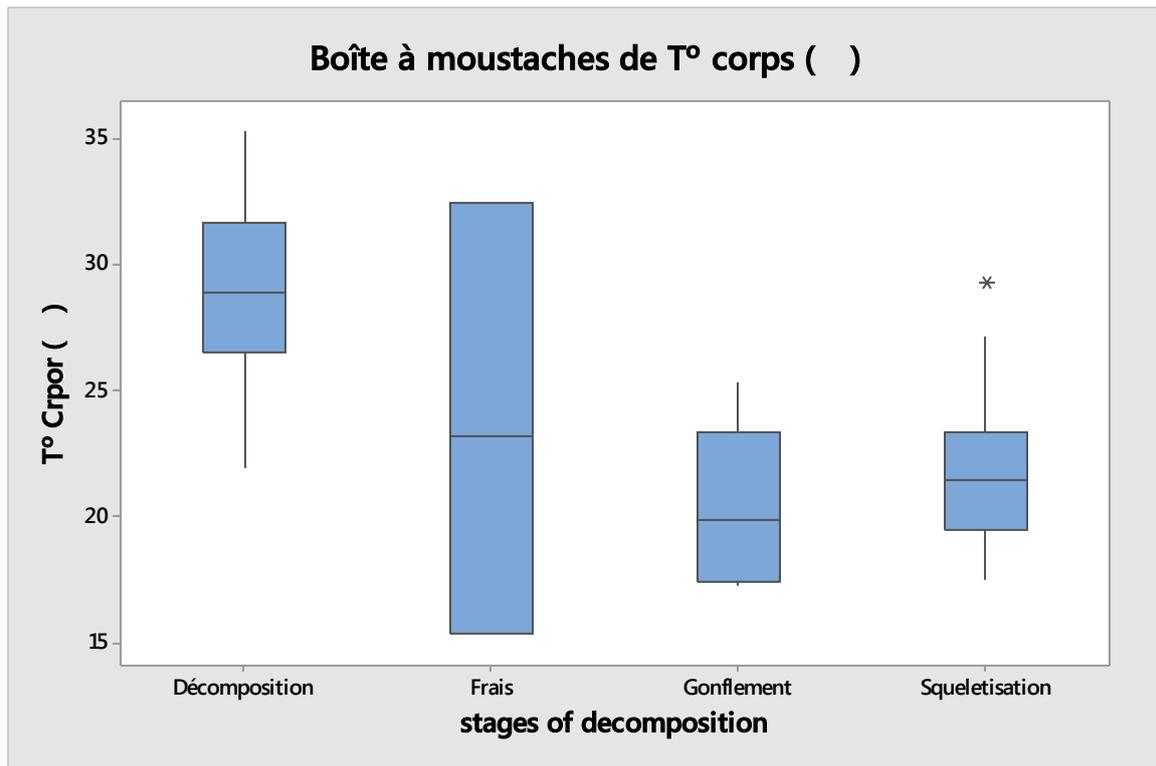


Fig.35 : Boîte à moustache montre les écarts entre les moyennes des températures du corps dans les différents stades de décomposition.

Tab.13 : Modèle linéaire général : T° moy de l'environnement (°C) en fonction des Stades de décomposition :

Source	DL	ajust	CM ajust	Valeur F	de p
Stades de décomposition	3	61,89	20,631	2,12	<u>0,111</u> NS
Erreur	43	417,84	9,717		
Total	46	479,73			

($P > 0.05$ alors il n'existe pas de différences significatives entre les moyennes (NS))

Les résultats issus de l'analyse de la variance montrent qu'il n'y a pas une différence significative, $p = 0,111$ qui est $> 0,05$, entre les températures moyenne du milieu où le cadavre chien (Dog2) est déposé durant les différentes phases de la décomposition cadavérique principalement le stade de gonflement, décomposition et squelettisation (Fig.36).

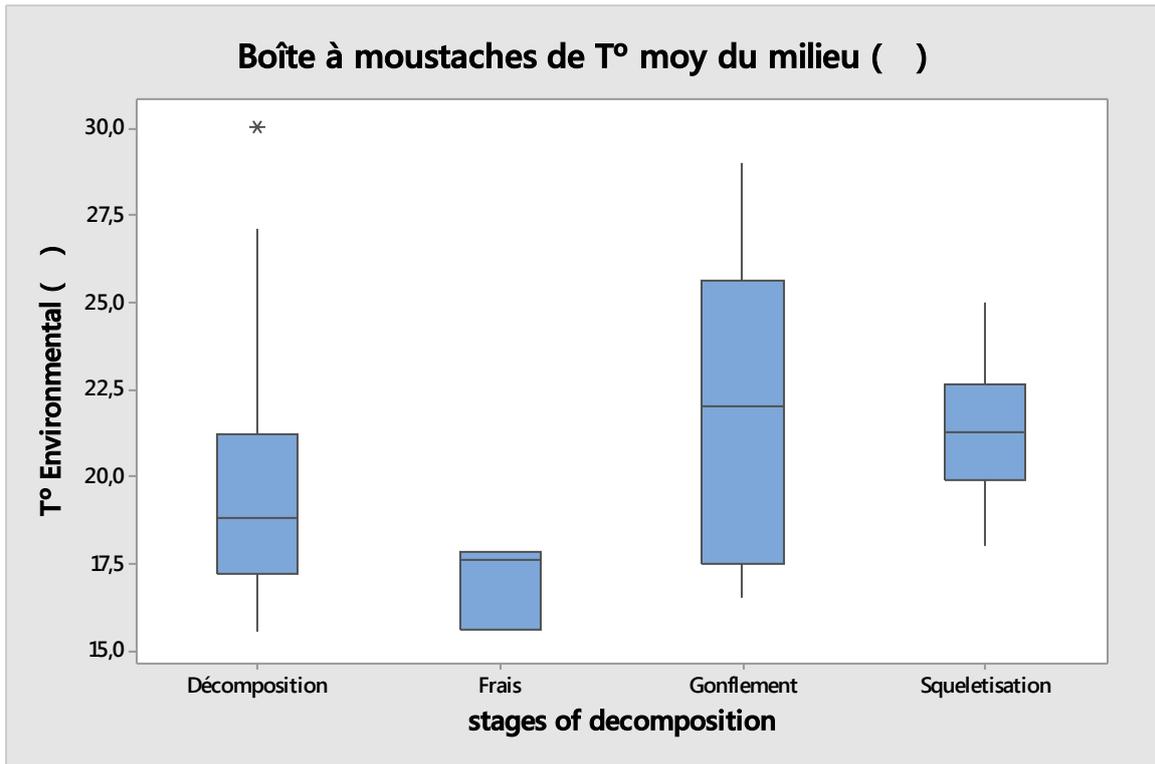


Fig.36 : Boîte à moustache montre les écarts entre les moyennes des températures du milieu dans les différents stades de décomposition.

- **Expériences Rab 2 :**

Tab.14 : Modèle linéaire général : T° corps (°c) en fonction des Stades de décomposition :

Source	DL	ajust	CM ajust	Valeur F	de p
Stades de décomposition	3	185,1	61,71	3,51	0,025**
Erreur	36	632,9	17,58		
Total	39	818,0			

(p = 0,01 : (**)) différences hautement significatives).

Les résultats issus de l'analyse de la variance montrent qu'il y a une différence hautement significatives, $p = 0,01$ qui est $\leq 0,05$, entre les températures prises au niveau du corps du lapin (Rab2) durant les différentes phases de la décomposition cadavérique (Fig.37).

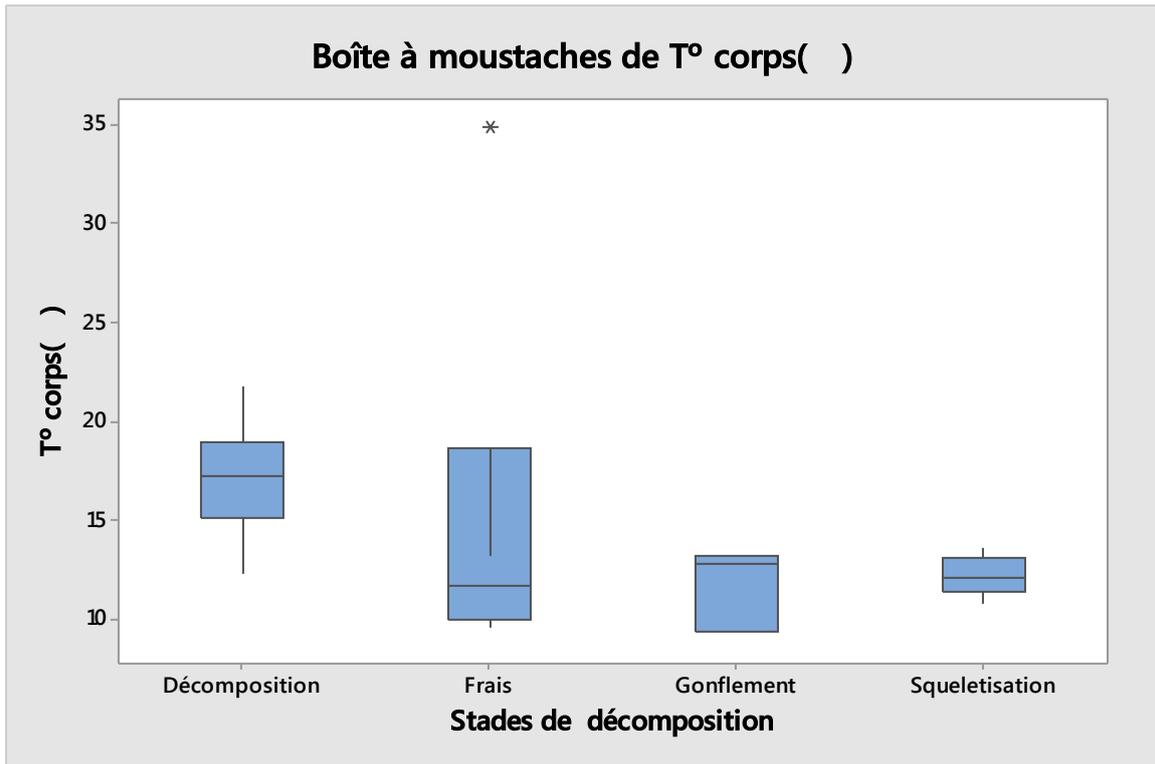


Fig.37 : Boîte à moustache montre les écarts entre les moyennes des températures du corps dans les différents stades de décomposition.

Tab.15 : Modèle linéaire général : T° moy de l'environnement (°C) en fonction des Stades de décomposition :

Source	DL	ajust	CM ajust	Valeur F	de p
Stades de décomposition	3	135,0	44,992	13,30	0,000
Erreur	36	121,7	3,382		
Total	39	256,7			

(p = 0,001 : (***) différences très hautement significatives).

Les résultats issus de l'analyse de la variance montrent qu'il y a une différence très hautement significatives, $p = 0,001$ qui est $< 0,05$, entre les températures moyenne du milieu où le cadavre lapin (Rab1) est déposé durant les différentes phases de la décomposition cadavérique (Fig.38).

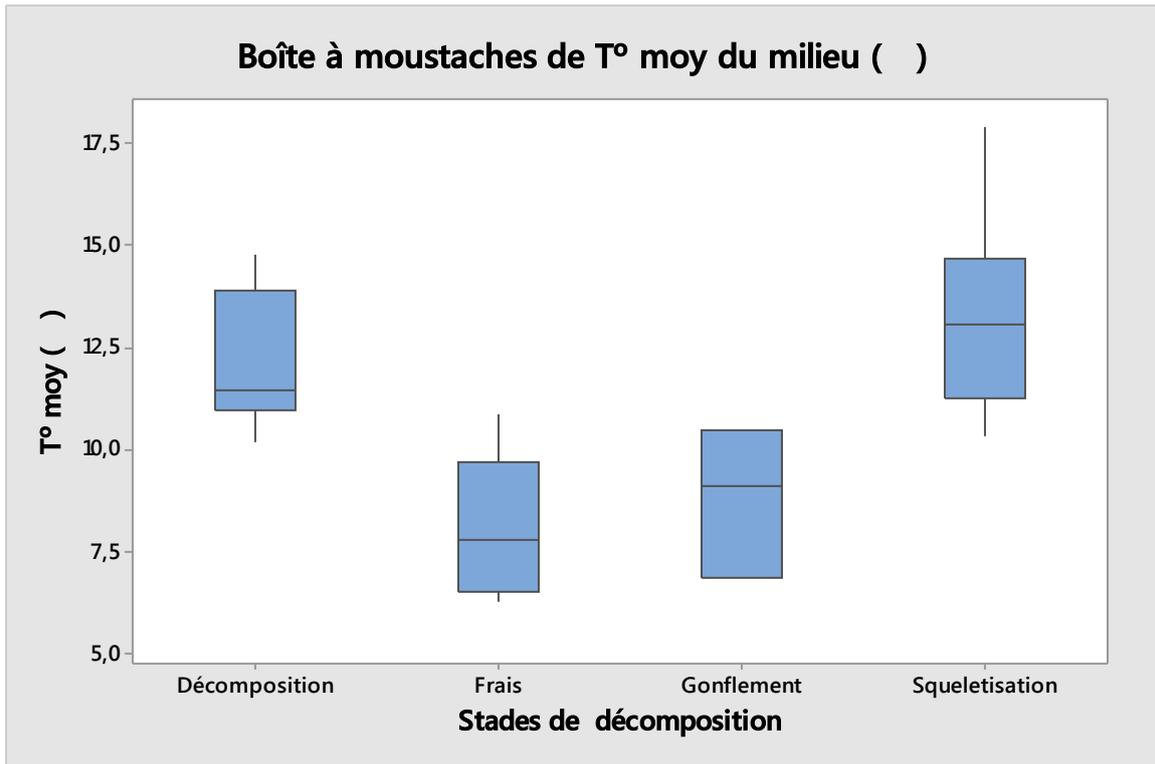


Fig.38 : Boîte à moustache montre les écarts entre les moyennes des températures du milieu dans les différents stades de décomposition.

b) Recherche de groupes d'expériences homogènes : méthode de la plus petite différence significative (*p.p.d.s.*) ou Test de Tukey:

❖ Comparaisons pour T° corps (°c) et T° du milieu (°c) en fonction des stades de décomposition :

• Expériences Rab1 :

Les résultats de l'analyse de comparaisons entre la température du corps et la température du milieu dans les différentes phases de décomposition du cadavre (Rab1) est illustré dans les figures : (Fig.39, 40 et 41).

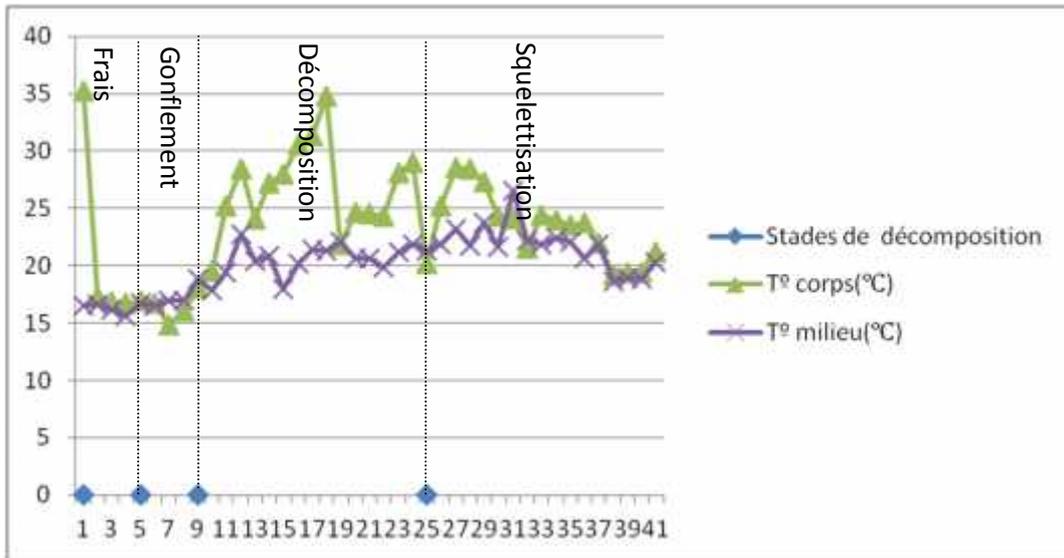


Fig.39 : Variation des températures journalières en fonction des stades de décomposition cadavérique (Expérience Rab1)

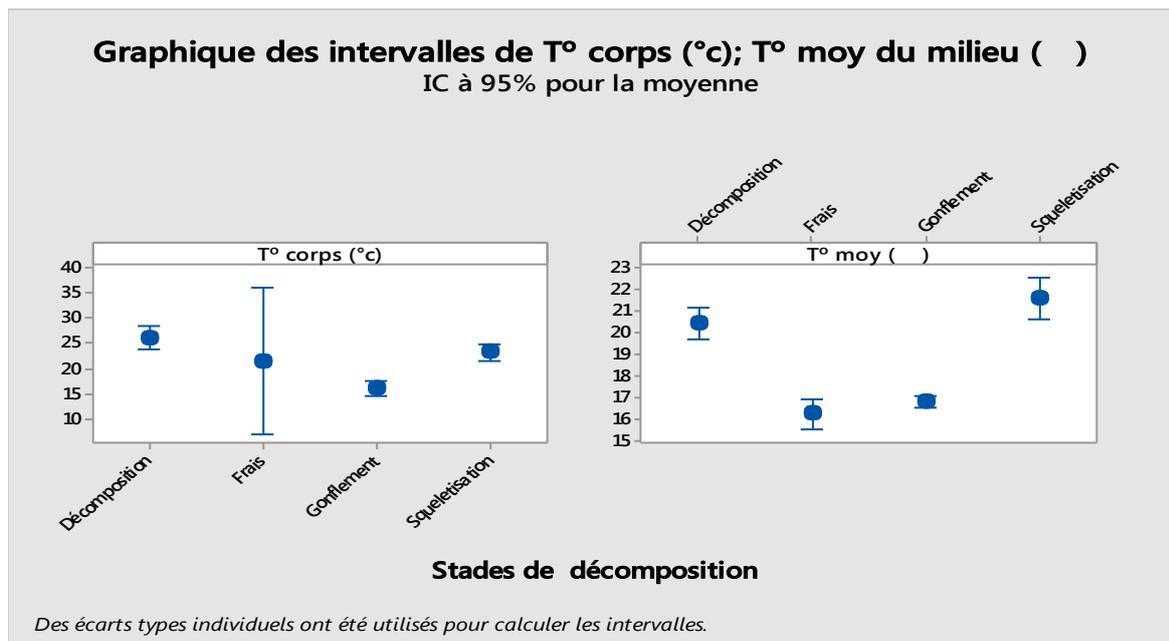


Fig.40 : Comparaisons des intervalles des moyennes de température du corps et du milieu en fonction des stades de décomposition (Expérience Rab1)

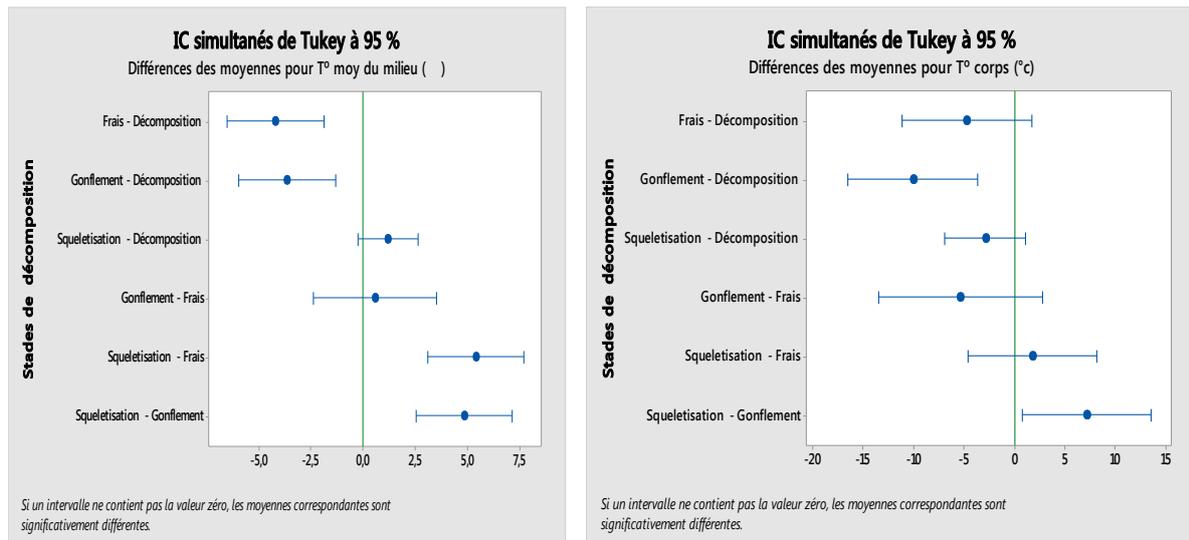


Fig.41 : Comparaisons deux à deux de Tukey : différences des moyennes de T° corps (°C) et T° du milieu (°C) en fonction des Stades de décomposition (Expérience Rab1)

L'analyse des graphiques (Fig.41) montre qu'il y a une différence très hautement significative entre la température du corps et la température du milieu lors de la phase frais de décomposition cadavérique, la prise de la température du corps au début de cette phase est égale à 35.2°C qui est une valeur élevée à la température du milieu qui est égale à 16.5°C.

En revanche et pendant la phase de gonflement, l'analyse montre qu'il n'y a pas une différence significative. Les valeurs de température du corps et du milieu prises durant cette phase sont presque égales.

Pendant la phase de décomposition on marque une différence significative entre la température du corps et celle du milieu. En effet, il y a une augmentation de la valeur de la température du corps qui atteint son maximum à 34.8°C par rapport à la température du milieu qui est égale à 21.3°C.

Lors de la phase de squelettisation on note qu'il n'y a pas une différence significative entre la température du corps et celle du milieu puisque les valeurs de la température prises au niveau du corps sont établies avec celles de l'environnement.

La comparaison deux à deux des différentes phases de décomposition cadavérique (Frais-décomposition), (Gonflement-décomposition), (Squelettisation-décomposition)...etc., montre qu'il n'y a pas une différence entre les moyennes des températures du corps et du milieu c'est-à-dire que les moyennes des températures du corps présentent des fluctuations importantes

dans chaque stade de décomposition cadavérique, il en est de même pour les moyennes des températures du milieu qui présente aussi des fluctuations importantes.

- **Expériences Dog 2 :**

Les résultats de l'analyse de comparaisons entre la température du corps et la température du milieu dans les différentes phases de décomposition du cadavre (Dog2) est illustré dans les figures 42, 43 et 44.

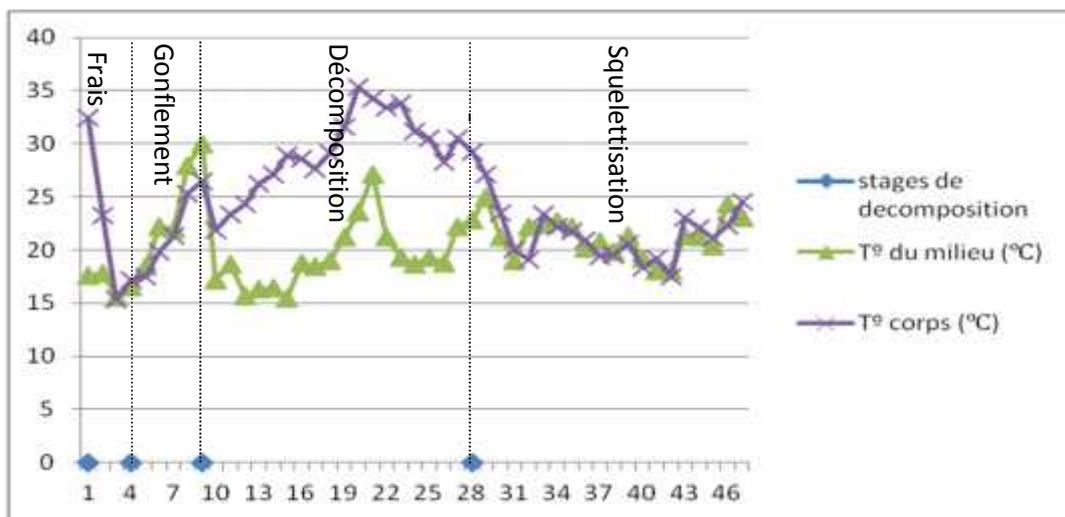


Fig.42 : Variation des températures journalières en fonction des stades de décomposition cadavérique (Expérience Dog2)

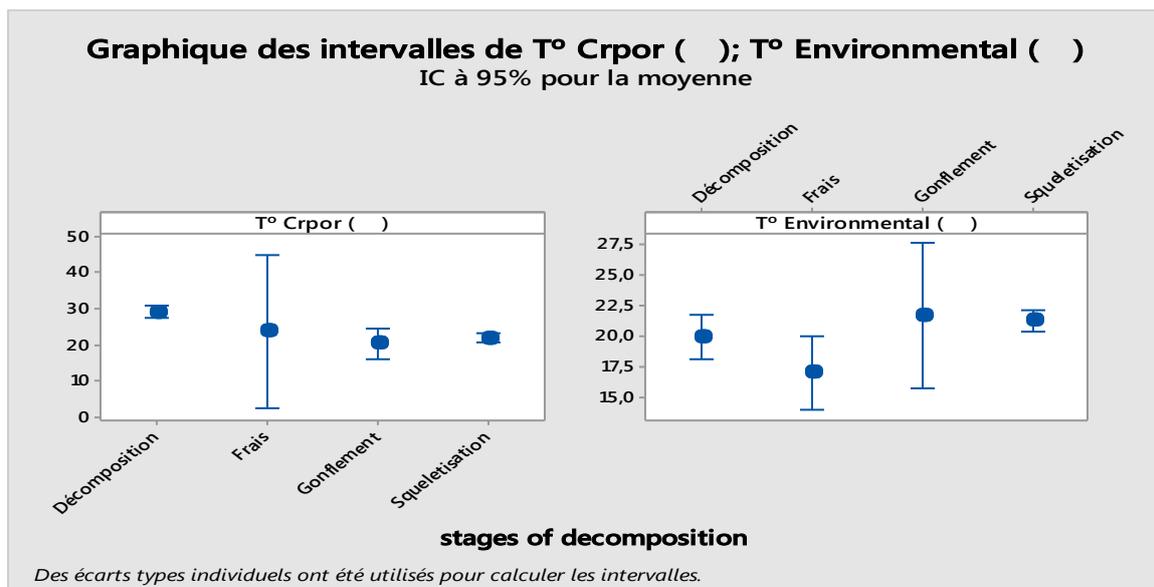


Fig.43 : Comparaisons des intervalles des moyennes de température du corps et du milieu en fonction des stades de décomposition (Expérience Dog2)

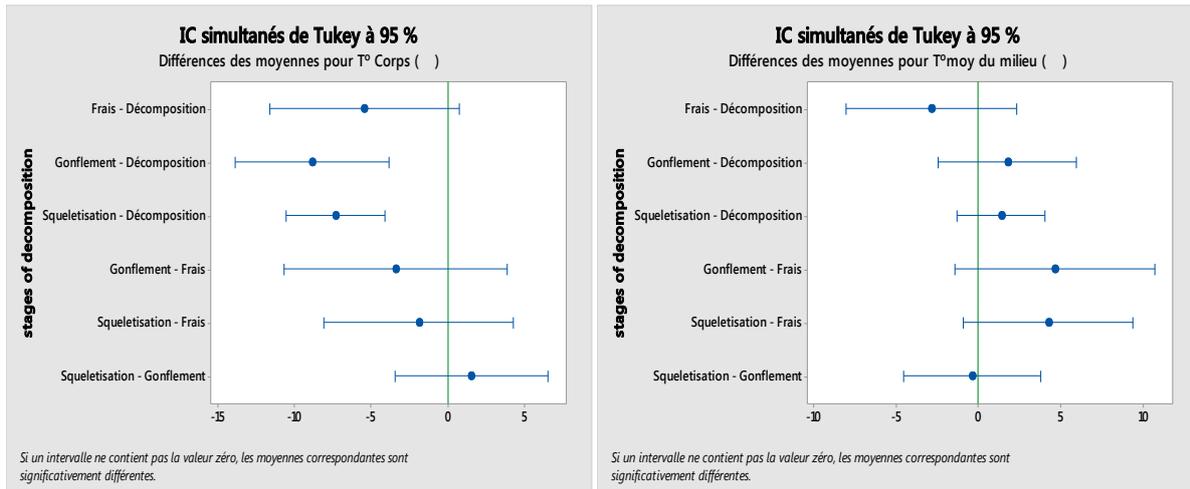


Fig.44 : Comparaisons deux à deux de Tukey : différences des moyennes de T° corps (°c) et T° du milieu (°c) en fonction des Stades de décomposition (Expérience Dog2)

L'analyse des graphiques (fig.44) montre que les mêmes phénomènes de fluctuation des températures du corps et du milieu sont observés dans la deuxième expérience (Dog2).

Il y a une différence hautement significative entre la température du corps et la température du milieu lors de la phase frais de décomposition cadavérique. La prise de la température du corps au début de cette phase est égale à 32.4°C ce qui est une valeur élevée par rapport à la température du milieu qui est de 17.6°C (Annexe 1).

Pour la phase de gonflement, l'analyse montre qu'il n'y a pas une différence significative. Les valeurs de température du corps et du milieu prises durant cette phase sont presque égales.

Pendant la phase de décomposition on marque une différence significative entre la température du corps et celle du milieu qui s'explique par une augmentation de la valeur de la température du corps qui atteint son maximum à 35.3°C par rapport à la température du milieu qui est égale à 23.6°C.

Lors de la phase de squelettisation on note qu'il n'y a pas une différence significative entre la température du corps et du milieu puisque les valeurs de la température prises dans le corps sont établies avec les valeurs de la température du milieu.

Lorsqu'on compare deux à deux les différentes phases de décomposition cadavérique de la deuxième expérience, on note qu'il n'y a pas une différence entre les moyennes des températures du corps et du milieu à l'exception des stades squelettisation- gonflement. Ces stades présentent une différence hautement significative entre les moyennes des températures

du milieu c'est-à-dire que ces deux phases (squelettisation et gonflement) présentent presque la même moyenne des températures du milieu.

• **Expériences Rab2 :**

Les résultats de l'analyse de comparaisons entre la température du corps et la température du milieu dans les différentes phases de décomposition du cadavre (Rab2) est illustré dans les figures 45, 46 et 47.

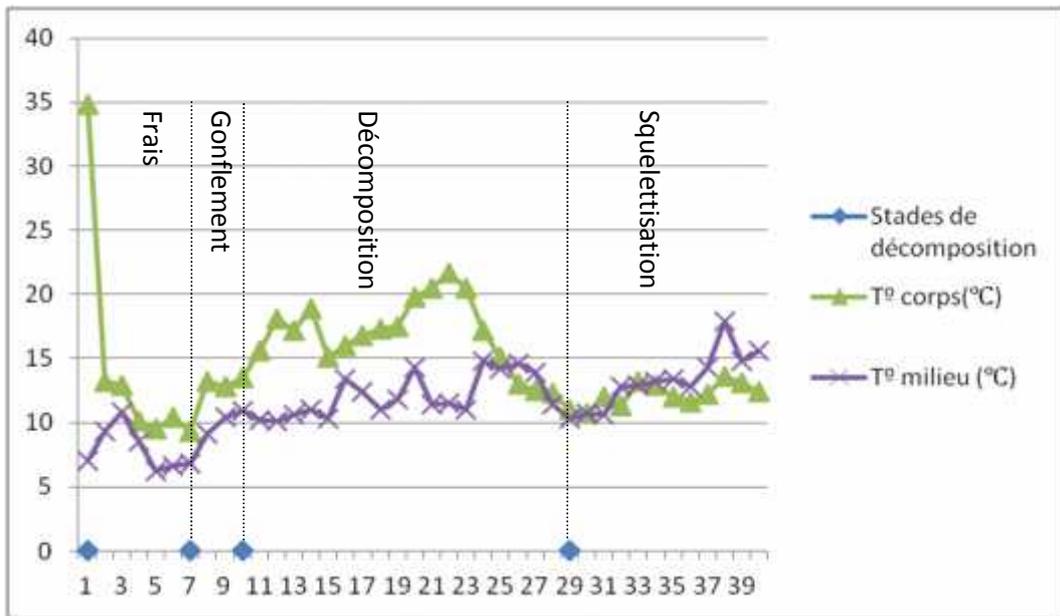


Fig.45 : Variation des températures journalières en fonction des stades de décomposition cadavérique (Expérience Rab2)

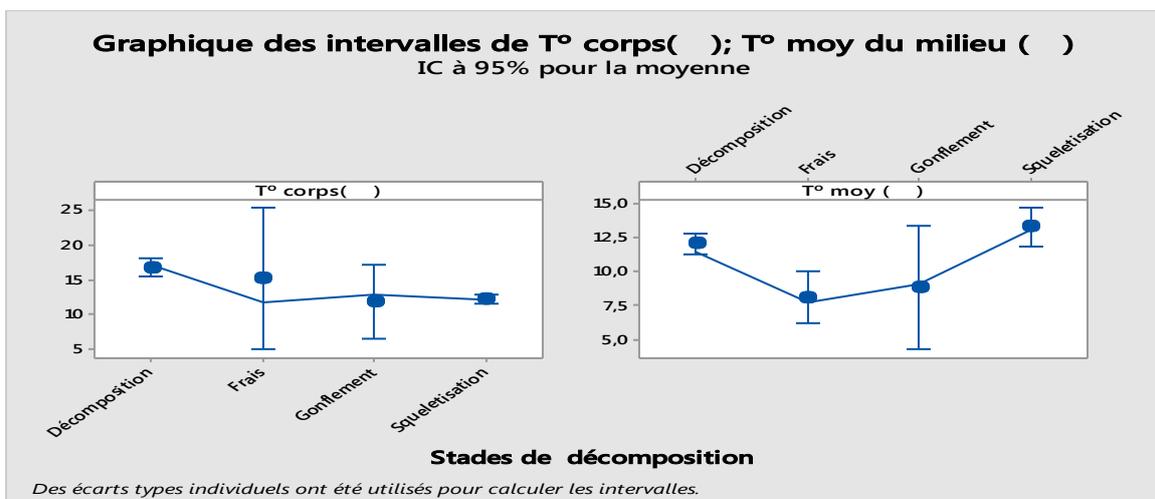


Fig.46 : Comparaisons des intervalles des moyennes de température du corps et du milieu en fonction des stades de décomposition (Expérience Rab2)

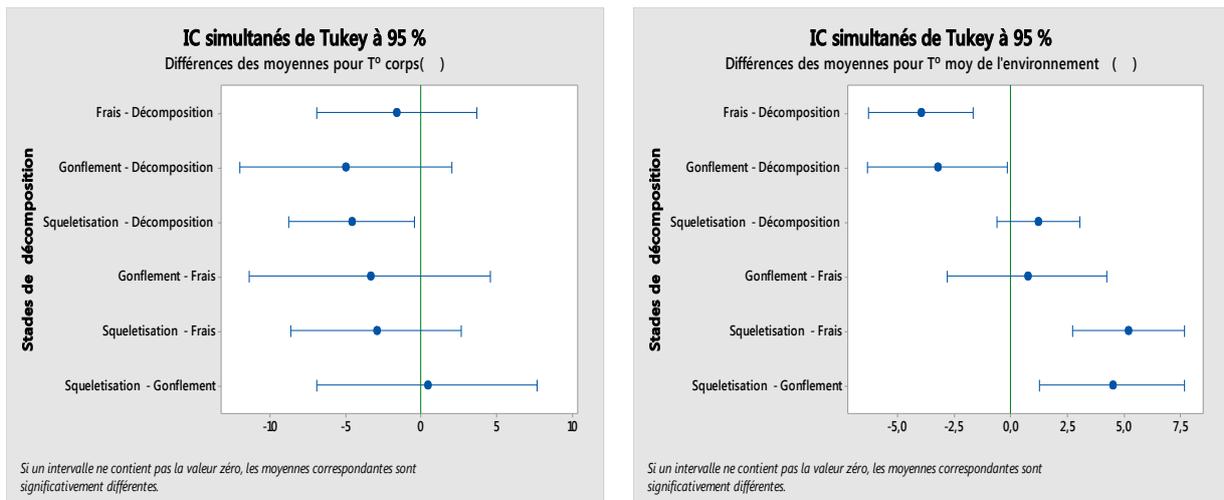


Fig.47 : Comparaisons deux à deux de Tukey : différences des moyennes de T° corps (°c) et T° du milieu (°c) en fonction des Stades de décomposition (Expérience Rab2)

Il en est de même pour la 3^{ème} expérience (Rab2), le phénomène de variation de la température du corps et celle du milieu observé dans cette expérience est observé dans les deux expériences précédentes.

Il y a une différence très hautement significative entre la température du corps et la température du milieu lors de la phase frais de décomposition cadavérique. En effet la prise de la température du corps au début de cette phase est égale à 34,8°C qui est très élevée par rapport à la température du milieu qui est de 7°C (Annexe 1).

Pour la phase de gonflement, l'analyse montre qu'il n'y a pas une différence significative. Les valeurs de température du corps et du milieu prises durant cette phase sont presque égales.

Pendant la phase de décomposition on remarque une différence significative entre la température du corps et celle du milieu qui s'explique par une augmentation de la valeur de la température du corps qui atteint son maximum à 21,7°C par rapport à la température du milieu qui est égale à 11,5°C.

Lors de la phase de squelettisation on note qu'il n'y a pas une différence significative entre la température du corps et du milieu puisque les valeurs de la température prises dans le corps se superposent avec les valeurs de la température du milieu.

Dans la troisième expérience les comparaisons deux à deux des différents stades de décomposition, montre que les températures moyennes du corps et celle du milieu ne

présentent pas en générale une différence significative, à l'exception des stades (squelettisation-gonflement) qui présente les mêmes moyennes des températures du corps et sont donc très hautement significatives (Fig.47).

L'analyse et la comparaison des résultats des prélèvements de la température du corps et du milieu dans les trois expériences, nous a permis de conclure que l'augmentation de la température du corps au début de la phase frais s'explique par la nature des animaux utilisés lors de nos expérimentation (chiens et lapins). Ce sont des animaux homéotherme (température constante du corps) et qui vont garder cette chaleur les premières heures après la mort. Ce qui est remarqué dans les trois expériences.

La deuxième remarque tirée par l'analyse de ces expériences est l'augmentation considérable de la température du corps dans la troisième phase de décomposition cadavérique après un déclin dans la phase de gonflement. Cela s'explique par la prise de la température du corps au niveau des orifices naturels et des lésions là où on a remarqué la présence d'importantes masses larvaires qui vont augmenter la température du corps au niveau de ces zones.

III.3.2. Etude de la composition des Diptères nécrophages :

L'échantillonnage des différents stades de Diptères (familles et espèces) dans différentes phases de décomposition cadavérique (Frais, Gonflement, décomposition et squelettisation) dans les expériences (Dog1, Rab1, Dog2 et Rab2) (Annexe2), nous à permis d'étudier la relation qui existe entre ces paramètres.

III.3.2.1. Analyse uni-variée

a) Analyse de la variance ANOVA :

Tab.16 : Modèle linéaire général : Nombre de prélèvement par stade de développement en fonction des expériences; familles; espèces :

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Expérience	3	29559	9853	0,31	0,821 ns
Famille (expérience)	13	332559	25581	0,80	0,662 ns
Espèces (expérience; famille)	25	1058678	42347	1,32	0,176 ns
Erreur	84	2699023	32131		
Total	125	4208349			

DDL : degrés de liberté

SomCar : somme des carrés des écarts

CM : carré moyen = SCE/ DDL

F : valeur de la variable de F « FISHER » = CM différences entre expériences / CM valeur résiduelle

P : la probabilité de mettre en évidence des différences significatives

Les résultats issus de l'analyse de la variance montrent qu'il n'y a pas une différence significative ($p = 0,821$ qui est $> = 0,05$) du nombre de prélèvement par stade de développement dans les quatre expériences, il en est de même les familles ($p = 0,662$ qui est $> = 0,05$) et les espèces ($p = 0,176$ qui est $> = 0,05$) (Fig.48).

Tab.17 : Modèle linéaire général : Nombre de prélèvement lors du stade frais de la décomposition cadavérique en fonction des expériences; familles; espèces :

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Expérience	3	49,22	16,41	1,46	0,230 ns
Famille (expérience)	13	172,66	13,28	1,18	0,305 ns
Espèces (expérience; famille)	25	303,47	12,14	1,08	0,380 ns
Erreur	84	942,00	11,21		
Total	125	1560,44			

Les résultats issus de l'analyse de la variance montrent qu'il n'y a pas une différence significative ($p = 0,230$ qui est $> = 0,05$) du nombre de prélèvement lors de la première phase de décomposition cadavérique dans les quatre expériences. La même observation est faite pour les familles ($p = 0,305$ qui est $> = 0,05$) et les espèces ($p = 0,380$ qui est $> = 0,05$) (Fig.49).

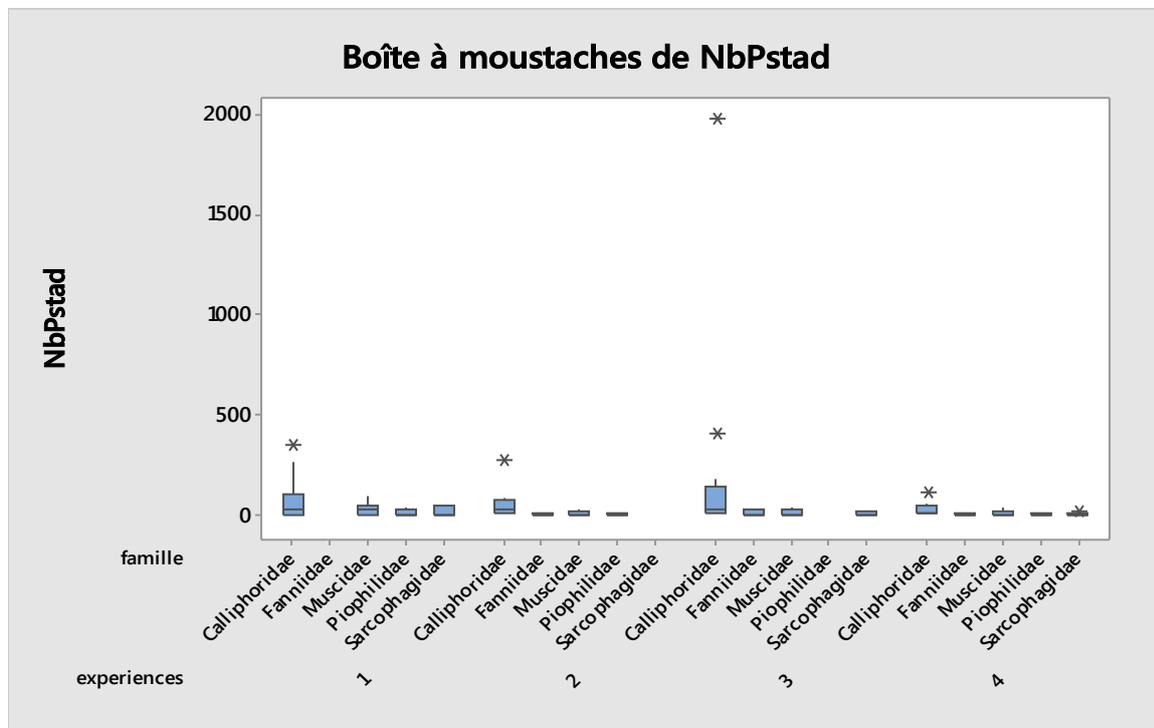


Fig. 48 : Boite à moustache montre les écarts entre les moyennes de nombre de prélèvement par stade de développement par famille dans les quatre expériences

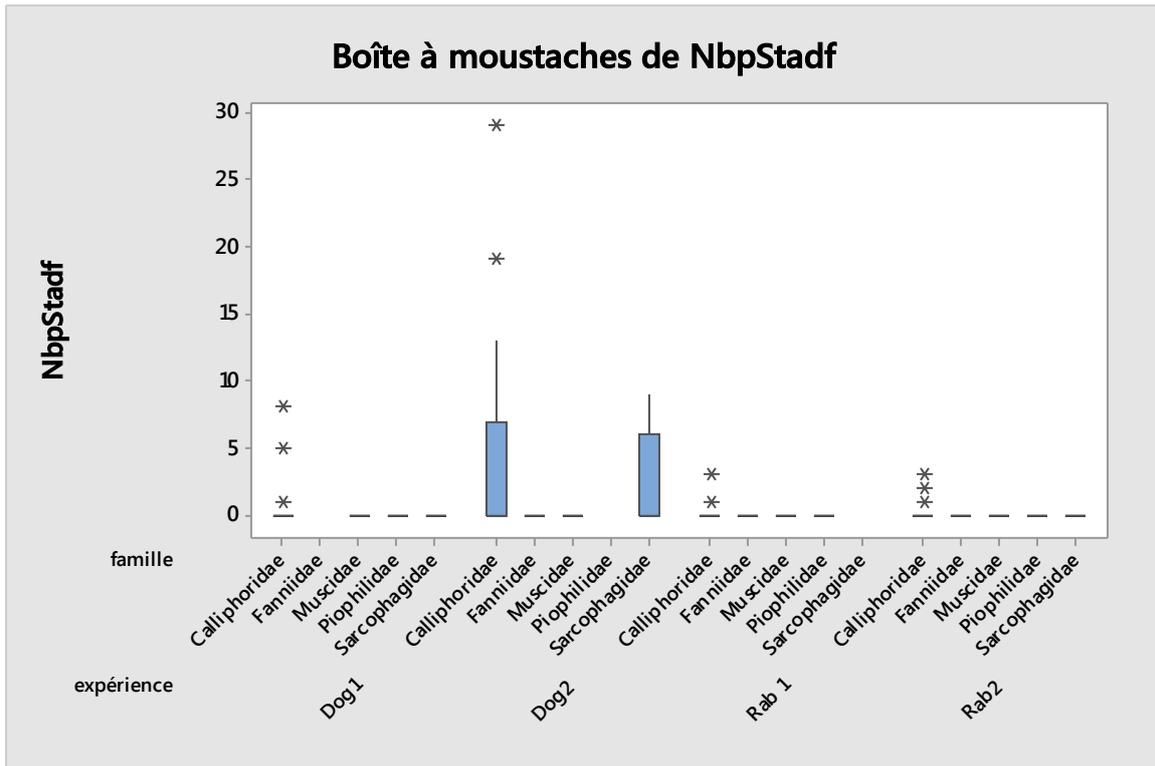


Fig.49 : Boîte à moustache montre les écarts entre les moyennes de nombre de prélèvement lors de la première phase (Frais) de décomposition cadavérique par famille dans les quatre expériences

Tab.18 : Modèle linéaire général : Nombre de prélèvement lors du stade de gonflement de la décomposition cadavérique en fonction des expériences; familles; espèces

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Expérience	3	1663	554,2	0,44	0,726 ns
Famille (expérience)	13	14535	1118,1	0,89	0,571 ns
Espèces (expérience; famille)	25	41375	1655,0	1,31	0,181 ns
Erreur	84	106091	1263,0		
Total	125	167543			

Les résultats issus de l'analyse de la variance montrent qu'il n'y a pas une différence significative ($p = 0,726$ qui est $> = 0,05$) du nombre de prélèvement lors de la deuxième phase de décomposition cadavérique dans les quatre expériences, la même observation est distingué pour les familles ($p = 0,571$ qui est $> = 0,05$) et les espèces ($p = 0,181$ qui est $> = 0,05$) (Fig.50).

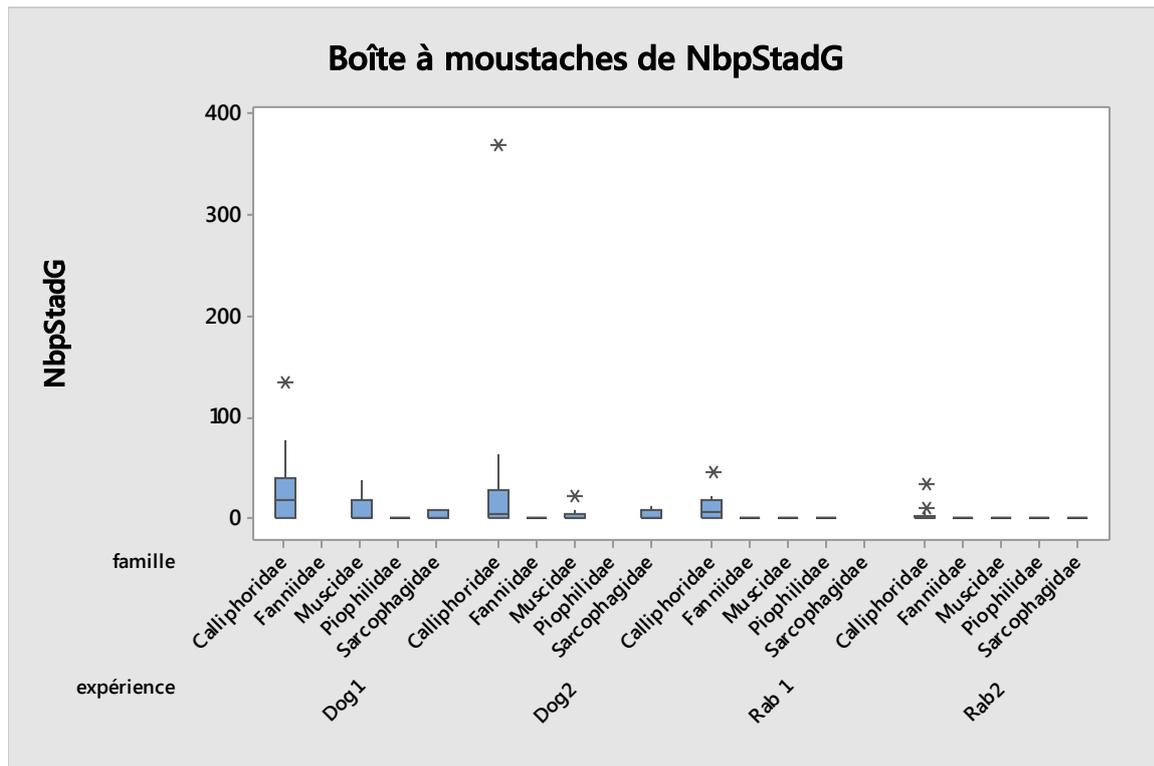


Fig.50 : Boîte à moustache montre les écarts entre les moyennes de nombre de prélèvement lors de la deuxième phase (Gonflement) de décomposition cadavérique par famille dans les quatre expériences.

Tab.19 : Modèle linéaire général : Nombre de prélèvement lors du stade de décomposition de la décomposition cadavérique en fonction des expériences; familles; espèces.

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Expérience	3	19110	6370	0,30	0,826 ns
Famille (expérience)	13	202591	15584	0,73	0,726 ns
Espèces (expérience; famille)	25	632033	25281	1,19	0,274 ns
Erreur	84	1786316	21266		
Total	125	2701150			

Les résultats issus de l'analyse de la variance montrent sont les mêmes observés dans la phase frais et de gonflement de décomposition cadavérique, c'est-à-dire qu'il n'y a pas une différence significative du nombre de prélèvement lors de la troisième phase de décomposition cadavérique dans les quatre expériences ($p = 0,726$ qui est $> = 0,05$). La même observation est faite pour les familles ($p = 0,571$ qui est $> = 0,05$) et les espèces ($p = 0,181$ qui est $> = 0,05$) (Fig.51).

Tab.20 : Modèle linéaire général : Nombre de prélèvement lors du stade de squelettisation de la décomposition cadavérique en fonction des expériences; familles; espèces

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Expérience	3	77,23	25,74	1,22	0,307 ns
Familles (expérience)	13	361,53	27,81	1,32	0,219 ns
Espèces (expérience; famille)	25	1599,68	63,99	3,03	0,000***
Erreur	84	1772,00	21,10		
Total	125	3914,54			

Les résultats issus de l'analyse de la variance montrent qu'il n'y a pas une différence significative du nombre de prélèvement lors de la quatrième phase de décomposition cadavérique dans les quatre expériences ($p = 0,307$ qui est $> = 0,05$), pour les cinq familles ($p = 0,219$ qui est $> = 0,05$).une différence très hautement significative du nombre de prélèvement lors de la quatrième phase décomposition cadavérique est observée pour les espèces ($p = p = 0,000$ qui est $= 0,001$) (Fig.52). Ce qui s'explique par l'émergence massive des pupes aux alentours des cadavres qui arrivent au stade adulte et l'achèvement de leur cycle de biologique lors de la phase de squelettisation et la dominance de certains espèces par rapport aux autres.

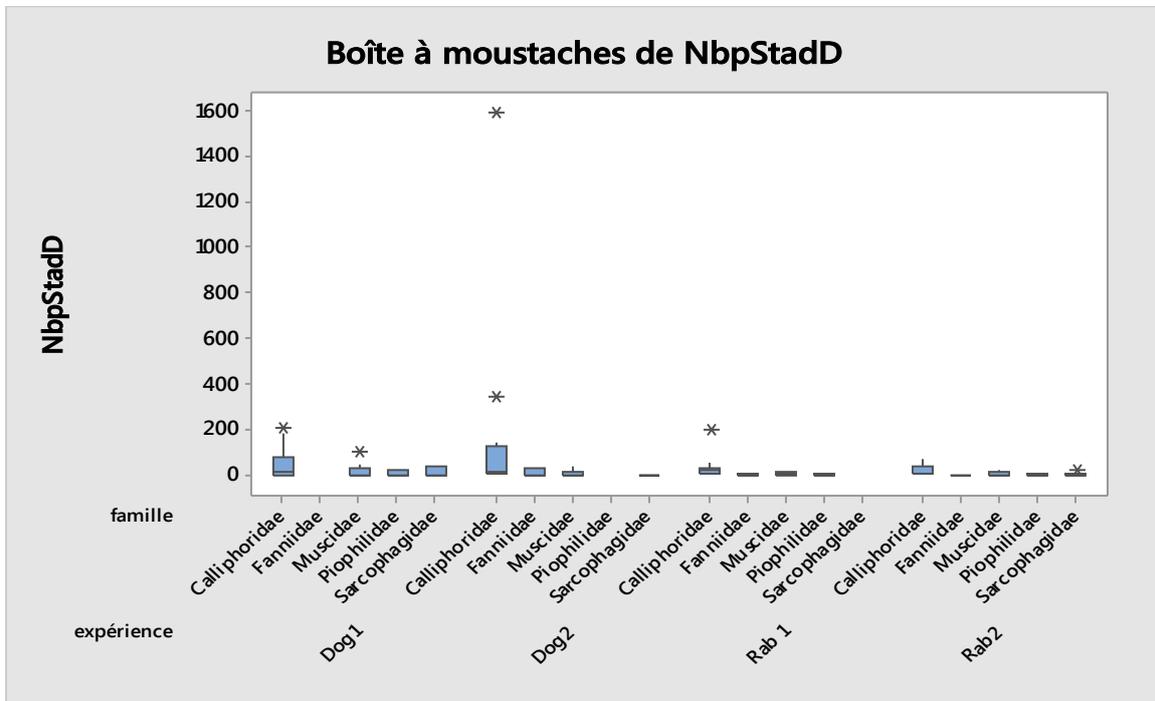


Fig.51 : Boîte à moustache montre les écarts entre les moyennes de nombre de prélèvement lors de la troisième phase (Décomposition) de décomposition cadavérique par famille dans les quatre expériences.

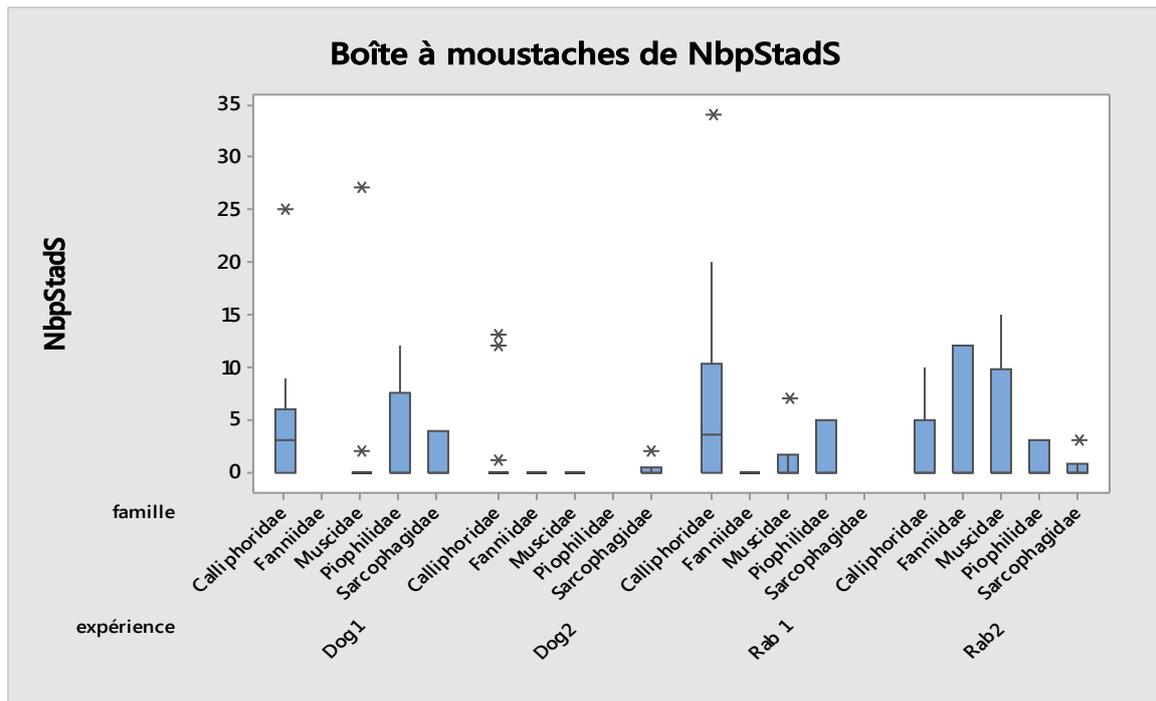


Fig.52: Boite à moustache montre les écarts entre les moyennes de nombre de prélèvement lors de la quatrième phase (Squelettisation) de décomposition cadavérique par famille dans les quatre expériences.

a) Recherche de groupes d'expériences homogènes : méthode de la plus petite différence significative (*p.p.d.s.*) ou Test de Tukey:

➤ Comparaisons du nombre de prélèvement par stade de développement (larve, pupa et adultes) :

Tab. 21 : Comparaisons deux à deux de Tukey : Prélèvement par stade de développement, en fonction des expériences

Expérience	N	Moyenne	Groupement
Dog2	33	55,9972	A
Dog1	36	32,2458	A
Rab 1	24	16,2708	A
Rab2	33	9,1067	A

N: nombre d'observation des différents stades de développement (larve, pupa, adulte)

L'analyse des résultats du tableau 21, montre que les quatre expériences appartiennent au même groupe c'est-à-dire que les prélèvements des différents stades de développement (larves, pupes et adultes), dans les expériences sont homogènes.

L'examen de la figure 53 montre que la comparaison des différences des moyennes du nombre de prélèvement entre les expériences (deux à deux), ne présente pas une différence

significative. Ce qui nous permet de conclure que le taux de prélèvement des larves, pupes et adultes dans chacune des expériences est presque le même.

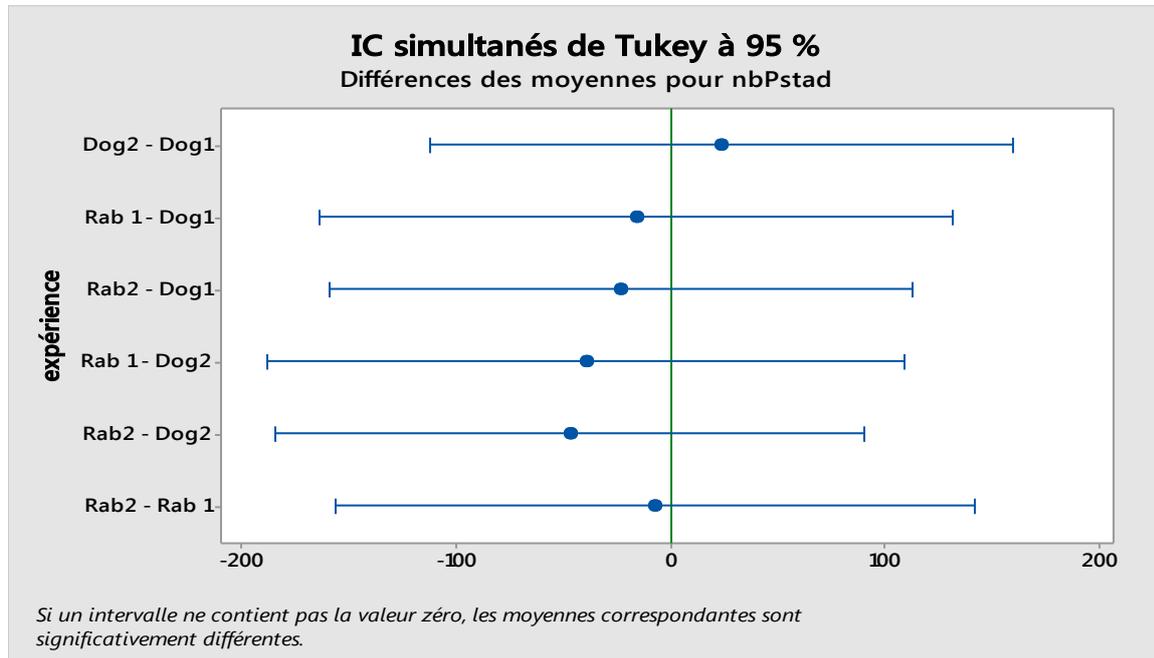


Fig.53 : Comparaisons deux à deux de Tukey : différences des moyennes de prélèvement des différents stades de décomposition en fonction des expériences.

Tab.22 : Comparaisons deux à deux de Tukey : Nombre de prélèvement par stade de développement, en fonction des espèces (expérience; famille)

Espèces (expérience; famille)	N	Moyenne	Groupement
Calliphora vicina(Dog2; Calliphoridae)	3	703,333	A
Lucilia sericata(Dog1; Calliphoridae)	3	152,000	A
Calliphora vomitoria(Dog2; Calliphoridae)	3	146,333	A
Calliphora vicina(Rab 1; Calliphoridae)	3	129,333	A
Lucilia illustris(Dog1; Calliphoridae)	3	103,000	B
Lucilia sericata(Dog2; Calliphoridae)	3	70,667	B
Calliphora vicina(Rab2; Calliphoridae)	3	61,667	B
Calliphora vicina(Dog1; Calliphoridae)	3	58,000	B
Musca sp(Dog1; Muscidae)	3	53,000	B
Lucilia illustris(Dog2; Calliphoridae)	3	53,000	B
Calliphora vomitoria(Dog1; Calliphoridae)	3	46,333	B
Lucilia sericata(Rab 1; Calliphoridae)	3	44,000	B
Muscina sp(Dog1; Muscidae)	3	31,000	B
Calliphora vomitoria(Rab2; Calliphoridae)	3	27,333	B
Muscina stabulans(Dog1; Muscidae)	3	25,667	B
Lucilia sericata(Rab2; Calliphoridae)	3	25,667	B
Chrysomia albiseps(Rab 1; Calliphoridae)	3	19,333	B
Phormia regina(Rab 1; Calliphoridae)	3	17,000	B
Sarcophaga sp(Dog1; Sarcophagidae)	3	16,000	B
Phormia regina(Dog2; Calliphoridae)	3	14,667	B
Muscina sp(Dog2; Muscidae)	3	14,000	B
Musca domestica(Rab2; Muscidae)	3	13,000	B
Piophilidae(Dog1; Piophilidae)	3	12,667	B
Musca domestica(Dog2; Muscidae)	3	11,667	B
Lucilia illustris(Rab2; Calliphoridae)	3	10,667	B

Chapitre III : Résultats

Fannia sp(Dog2; Fanniidae)	3	9,667	B
Musca domestica(Rab 1; Muscidae)	3	9,333	B
Piophilina sp(Dog1; Piophilidae)	3	8,333	B
Musca domestica(Dog1; Muscidae)	3	8,000	B
Sarcophaga sp(Dog2; Sarcophagidae)	3	7,000	B
Musca sp(Dog2; Muscidae)	3	7,000	B
Phormia regina(Dog1; Calliphoridae)	3	6,000	B
Sarcophaga africa(Rab2; Sarcophagidae)	3	6,000	B
Hydrotaea capensis(Rab2; Muscidae)	3	6,000	B
Hydrotaea capensis(Rab 1; Muscidae)	3	5,333	B
Sarcophaga africa(Dog2; Sarcophagidae)	3	4,667	B
Fannia sp(Rab2; Fanniidae)	3	4,333	B
Phormia regina(Rab2; Calliphoridae)	3	4,000	B
Fannia canicularis(Rab 1; Fanniidae)	3	3,000	B
Piophilina casei(Rab2; Piophilidae)	3	2,667	B
Piophilina casei(Rab 1; Piophilidae)	3	2,333	B
sarcophaga carnaria(Rab2; Sarcophagidae)	3	0,333	B

L'analyse des résultats du tableau 22, montre que le nombre de prélèvement par espèces des différents stades de développement dans les quatre expériences appartient à deux groupes différents c'est-à-dire que les prélèvements des larves, pupes et adultes par espèce dans les expériences sont hétérogènes. ceci s'explique par le taux important de prélèvement des quatre espèces qui appartiennent au même groupe (A) : l'espèce *C. vicina* qui appartient à la famille des calliphoridae dans l'expérience « Dog2 » avec une moyenne 703.33 spécimens récoltés dans les 3 stades de développement, suivi par les trois espèces de la même famille qui sont des espèces intermédiaires entre le groupe (A) fortement représentées par leurs nombres de capture et le groupe (B) qui est faiblement représenté à savoir les espèces *L. sericata* dans l'expérience « Dog1 », *C. vomitoria* « Dog2 » et *C. vicina* « Rab2 » avec respectivement des moyennes de 152, 146.33 et 129.33 spécimens récoltés dans les 3 stades de développement (Fig.54). Les autres espèces des différentes familles sont faiblement représentées essentiellement l'espèce *S. carnaria* « Rab2 » avec une moyenne de 0.33 spécimens récoltés dans les 3 stades de développement. Ce qui nous permet de conclure que le taux de prélèvement de l'espèce *C. vicina* dans les différents stades de développement est très hautement significatif par rapport aux autres espèces.

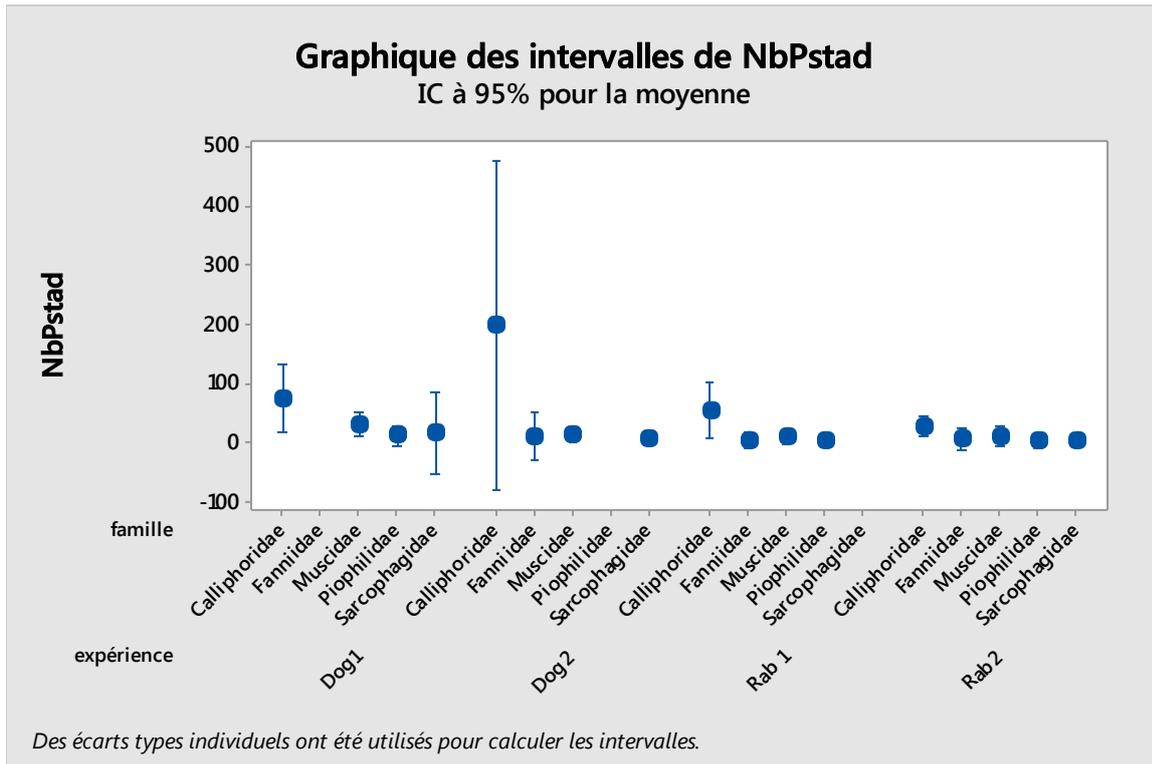


Fig.54 : intervalles des moyennes du nombre de prélèvement par stade de développement en fonction des familles dans les expériences.

➤ **Comparaisons des moyennes des prélèvements par stade de décomposition cadavérique (Frais, gonflement, décomposition et squelettisation) :**

Tab.23 : Comparaisons deux à deux de Tukey : moyennes des prélèvements dans le stade frais, en fonction des espèces dans chaque famille dans chacune des expériences.

Espèces (expérience; famille)	N	Moyenne	Groupement
Calliphora vicina(Dog2; Calliphoridae)	3	10,6667	A
Phormia regina(Dog2; Calliphoridae)	3	9,6667	A
Sarcophaga sp(Dog2; Sarcophagidae)	3	3,0000	A
Lucilia illustris(Dog1; Calliphoridae)	3	2,6667	A
Lucilia sericata(Dog2; Calliphoridae)	3	2,3333	A
Lucilia sericata(Dog1; Calliphoridae)	3	1,6667	A
Sarcophaga africa(Dog2; Sarcophagidae)	3	1,6667	A
Calliphora vomitoria(Dog2; Calliphoridae)	3	1,3333	A
Calliphora vicina(Rab 1; Calliphoridae)	3	1,0000	A
Calliphora vicina(Rab2; Calliphoridae)	3	1,0000	A
Lucilia sericata(Rab2; Calliphoridae)	3	0,6667	A
Lucilia illustris(Dog2; Calliphoridae)	3	0,6667	A
Lucilia sericata(Rab 1; Calliphoridae)	3	0,3333	A
Lucilia illustris(Rab2; Calliphoridae)	3	0,3333	A
Calliphora vicina(Dog1; Calliphoridae)	3	0,3333	A
Phormia regina(Rab 1; Calliphoridae)	3	0,0000	A
Calliphora vomitoria(Rab2; Calliphoridae)	3	0,0000	A
Musca domestica(Dog1; Muscidae)	3	0,0000	A
Hydrotaea capensis(Rab 1; Muscidae)	3	0,0000	A
Sarcophaga africa(Rab2; Sarcophagidae)	3	0,0000	A
Muscina sp(Dog2; Muscidae)	3	0,0000	A
Musca domestica(Rab2; Muscidae)	3	0,0000	A

Chapitre III : Résultats

Hydrotaea capensis(Rab2; Muscidae)	3	0,0000	A
Piophilidae casei(Rab 1; Piophilidae)	3	0,0000	A
Fannia sp(Rab2; Fanniidae)	3	0,0000	A
Piophilidae casei(Rab2; Piophilidae)	3	0,0000	A
sarcophaga carnaria(Rab2; Sarcophagidae)	3	0,0000	A
Fannia sp(Dog2; Fanniidae)	3	0,0000	A
Musca domestica(Rab 1; Muscidae)	3	0,0000	A
Musca domestica(Dog2; Muscidae)	3	0,0000	A
Fannia canicularis(Rab 1; Fanniidae)	3	0,0000	A
Piophilidae sp(Dog1; Piophilidae)	3	0,0000	A
Chrysomia albiseps(Rab 1; Calliphoridae)	3	-0,0000	A
Sarcophaga sp(Dog1; Sarcophagidae)	3	-0,0000	A
Musca sp(Dog2; Muscidae)	3	-0,0000	A
Musca sp(Dog1; Muscidae)	3	-0,0000	A
Muscina stabulans(Dog1; Muscidae)	3	-0,0000	A
Muscina sp(Dog1; Muscidae)	3	-0,0000	A
Piophilidae casei(Dog1; Piophilidae)	3	-0,0000	A
Phormia regina(Rab2; Calliphoridae)	3	-0,0000	A
Phormia regina(Dog1; Calliphoridae)	3	-0,0000	A
Calliphora vomitoria(Dog1; Calliphoridae)	3	-0,0000	A

L'analyse des résultants du tableau 23, comparent deux à deux le nombre de prélèvement des espèces dans les différentes phases de décomposition cadavérique (frais, gonflement, décomposition et squelettisation). Il en ressort que les espèces capturées pendant la première phase de décomposition cadavérique (frais) appartiennent au même groupe (Tab.23). Le tableau 23 met en évidence un seul groupement de 'A' indiquant qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes de capture. Nous pouvons expliquer ceci par une faible fréquence d'attraction des certains espèces au début du processus de décomposition cadavérique.

Tab.24 : Comparaisons deux à deux de Tukey : Nombre de prélèvement dans le stade de gonflement, en fonction des espèces dans (expérience; famille)

Espèces (expérience; famille)	N	Moyenne	Groupement
Calliphora vicina(Dog2; Calliphoridae)	3	131,667	A
Lucilia sericata(Dog1; Calliphoridae)	3	58,333	A B
Lucilia illustris(Dog1; Calliphoridae)	3	33,333	A B
Calliphora vicina(Dog1; Calliphoridae)	3	25,667	A B
Calliphora vomitoria(Dog2; Calliphoridae)	3	24,333	A B
Calliphora vicina(Rab 1; Calliphoridae)	3	22,333	A B
Calliphora vomitoria(Dog1; Calliphoridae)	3	15,000	A B
Lucilia sericata(Dog2; Calliphoridae)	3	15,000	A B
Musca sp(Dog1; Muscidae)	3	12,667	B
Calliphora vicina(Rab2; Calliphoridae)	3	12,333	B
Lucilia sericata(Rab 1; Calliphoridae)	3	11,000	B
Lucilia illustris(Dog2; Calliphoridae)	3	8,333	B
Muscina stabulans(Dog1; Muscidae)	3	8,000	B
Musca sp(Dog2; Muscidae)	3	7,000	B
Muscina sp(Dog1; Muscidae)	3	6,333	B
Phormia regina(Rab 1; Calliphoridae)	3	5,667	B
Phormia regina(Dog1; Calliphoridae)	3	5,000	B
Musca domestica(Dog1; Muscidae)	3	5,000	B
Sarcophaga sp(Dog2; Sarcophagidae)	3	4,000	B
Calliphora vomitoria(Rab2; Calliphoridae)	3	3,333	B
Muscina sp(Dog2; Muscidae)	3	3,000	B

Chapitre III : Résultats

Sarcophaga sp(Dog1; Sarcophagidae)	3	2,667	B
Sarcophaga africa(Dog2; Sarcophagidae)	3	2,333	B
Lucilia sericata(Rab2; Calliphoridae)	3	2,333	B
Chrysomia albiseps(Rab 1; Calliphoridae)	3	1,667	B
Phormia regina(Rab2; Calliphoridae)	3	0,667	B
Phormia regina(Dog2; Calliphoridae)	3	0,667	B
Lucilia illustris(Rab2; Calliphoridae)	3	0,333	B
Hydrotaea capensis(Rab 1; Muscidae)	3	0,000	B
Fannia sp(Dog2; Fanniidae)	3	0,000	B
Fannia canicularis(Rab 1; Fanniidae)	3	0,000	B
Piophilidae casei(Rab2; Piophilidae)	3	0,000	B
Sarcophaga africa(Rab2; Sarcophagidae)	3	0,000	B
Piophilidae casei(Dog1; Piophilidae)	3	0,000	B
Musca domestica(Rab 1; Muscidae)	3	-0,000	B
Musca domestica(Rab2; Muscidae)	3	-0,000	B
Hydrotaea capensis(Rab2; Muscidae)	3	-0,000	B
Piophilidae casei(Rab 1; Piophilidae)	3	-0,000	B
Fannia sp(Rab2; Fanniidae)	3	-0,000	B
sarcophaga carnaria(Rab2; Sarcophagidae)	3	-0,000	B
Musca domestica(Dog2; Muscidae)	3	-0,000	B
Piophilidae sp(Dog1; Piophilidae)	3	-0,000	B

Pendant la deuxième phase de décomposition cadavérique, on note que les espèces capturées appartiennent à deux groupes hétérogènes, le groupe (A) qui présente les espèces qui sont fréquemment récoltées parmi les quatre expériences dans la phase de gonflement et le groupe (B) qui représente les espèces faiblement capturées (Tab.24).

L'espèce la plus fréquemment récoltée dans le groupe (A) est *C.vicina* dans l'expérience 'Dog2' avec une moyenne de capture de 131.66 spécimens entre larves et adultes, ceci explique que cette espèce est la première espèce qui vient tôt sur le cadavre 'phase de gonflement' et avec une fréquence importante par rapport aux autres espèces (Tab.24).

Les espèces *L. sericata* (Dog1), *L. illustris*(Dog1) ,*C. vicina* (Dog1) ,*C. vomitoria* (Dog2), *C. vicina* (Rab 1), *C. vomitoria* (Dog1), *L. sericata* (Dog2), appartiennent aux deux groupes. La présence de ces espèces dans les deux groupes s'explique par le fait que le nombre capture pour l'une ou l'autre varie selon les expériences menées.

On note que la quasi-totalité des espèces faiblement capturés dans ce stade de décomposition cadavérique appartiennent à la famille des Calliphoridae, ce qui explique que cette famille est le groupe qui domine largement cette phase (Fig.50).

Tab.25 : Comparaisons deux à deux de Tukey : Nombre de prélèvement dans le stade de décomposition, en fonction des espèces dans (expérience; famille)

Espèces (expérience; famille)	N	Moyenne	Groupement
Calliphora vicina(Dog2; Calliphoridae)	3	552,667	A
Calliphora vomitoria(Dog2; Calliphoridae)	3	120,667	A
Calliphora vicina(Rab 1; Calliphoridae)	3	85,333	A
Lucilia sericata(Dog1; Calliphoridae)	3	77,667	A
Lucilia illustris(Dog1; Calliphoridae)	3	65,000	B
Lucilia sericata(Dog2; Calliphoridae)	3	53,333	B

Chapitre III : Résultats

Lucilia illustris(Dog2; Calliphoridae)	3	43,667	B
Calliphora vicina(Rab2; Calliphoridae)	3	41,667	B
Musca sp(Dog1; Muscidae)	3	31,333	B
Calliphora vomitoria(Dog1; Calliphoridae)	3	29,000	B
Calliphora vicina(Dog1; Calliphoridae)	3	27,667	B
Lucilia sericata(Rab 1; Calliphoridae)	3	26,667	B
Calliphora vomitoria(Rab2; Calliphoridae)	3	22,333	B
Lucilia sericata(Rab2; Calliphoridae)	3	18,667	B
Muscina stabulans(Dog1; Muscidae)	3	17,000	B
Chrysomia albiseps(Rab 1; Calliphoridae)	3	16,000	B
Phormia regina(Dog2; Calliphoridae)	3	14,000	B
Muscina sp(Dog1; Muscidae)	3	12,333	B
Sarcophaga sp(Dog1; Sarcophagidae)	3	12,000	B
Musca domestica(Dog2; Muscidae)	3	11,667	B
Phormia regina(Rab 1; Calliphoridae)	3	10,333	B
Lucilia illustris(Rab2; Calliphoridae)	3	10,000	B
Muscina sp(Dog2; Muscidae)	3	9,667	B
Fannia sp(Dog2; Fanniidae)	3	9,667	B
Piophilidae casei(Dog1; Piophilidae)	3	8,667	B
Musca domestica(Rab2; Muscidae)	3	8,000	B
Musca domestica(Rab 1; Muscidae)	3	7,000	B
Piophilidae sp(Dog1; Piophilidae)	3	6,333	B
Hydrotaea capensis(Rab 1; Muscidae)	3	5,333	B
Sarcophaga africa(Rab2; Sarcophagidae)	3	5,000	B
Phormia regina(Rab2; Calliphoridae)	3	3,333	B
Hydrotaea capensis(Rab2; Muscidae)	3	3,333	B
Fannia canicularis(Rab 1; Fanniidae)	3	3,000	B
Musca domestica(Dog1; Muscidae)	3	3,000	B
Piophilidae casei(Rab2; Piophilidae)	3	1,667	B
Musca sp(Dog2; Muscidae)	3	1,333	B
Phormia regina(Dog1; Calliphoridae)	3	1,000	B
Piophilidae casei(Rab 1; Piophilidae)	3	0,667	B
Fannia sp(Rab2; Fanniidae)	3	0,333	B
sarcophaga carnaria(Rab2; Sarcophagidae)	3	0,333	B
Sarcophaga sp(Dog2; Sarcophagidae)	3	0,000	B
Sarcophaga africa(Dog2; Sarcophagidae)	3	0,000	B

L'analyse des résultats du tableau 25, montre que l'espèce *C.vicina* (Dog2) est la plus fréquemment capturée dans l'ensemble des échantillons prélevés durant la phase de décomposition avec une moyenne de 552.66. Cette moyenne est non négligeable par rapport à l'ensemble des captures.

On note aussi des espèces de la famille des Calliphoridae comme *C.vomitoria* (Dog2), *C.vicina* (Rab1) et *L.sericata* (Dog2) qui présente des fluctuations dans le nombre de capture de spécimens de larves, de pupes et d'adultes dans cette phase de décomposition.

L'espèce qui présente une très faible présence dans cette phase est *S.carnaria* vue leur moyenne de capture qui est de 0.33. Notons que cette espèce est capturée seulement dans cette phase, c'est-à-dire qu'elle n'est pas signalé dans les autres phases de décomposition cadavérique.

Tab.26 : Comparaisons deux à deux de Tukey : Nombre de prélèvement dans le stade de squelettisation, en fonction des espèces dans (expérience; famille)

Espèces (expérience; famille)	N	Moyenne	Groupement
Calliphora vicina(Rab 1; Calliphoridae)	3	20,6667	A
Lucilia sericata(Dog1; Calliphoridae)	3	14,3333	A B
Musca sp(Dog1; Muscidae)	3	9,0000	A B
Calliphora vicina(Dog2; Calliphoridae)	3	8,3333	A B
Calliphora vicina(Rab2; Calliphoridae)	3	6,6667	A B
Lucilia sericata(Rab 1; Calliphoridae)	3	6,0000	A B
Musca domestica(Rab2; Muscidae)	3	5,0000	B
Calliphora vicina(Dog1; Calliphoridae)	3	4,3333	B
Fannia sp(Rab2; Fanniidae)	3	4,0000	B
Lucilia sericata(Rab2; Calliphoridae)	3	4,0000	B
Piophilidae casei(Dog1; Piophilidae)	3	4,0000	B
Hydrotaea capensis(Rab2; Muscidae)	3	2,6667	B
Musca domestica(Rab 1; Muscidae)	3	2,3333	B
Calliphora vomitoria(Dog1; Calliphoridae)	3	2,3333	B
Lucilia illustris(Dog1; Calliphoridae)	3	2,0000	B
Piophilidae sp(Dog1; Piophilidae)	3	2,0000	B
Calliphora vomitoria(Rab2; Calliphoridae)	3	1,6667	B
Piophilidae casei(Rab 1; Piophilidae)	3	1,6667	B
Chrysomya albiceps(Rab 1; Calliphoridae)	3	1,6667	B
Sarcophaga sp(Dog1; Sarcophagidae)	3	1,3333	B
Phormia regina(Rab 1; Calliphoridae)	3	1,0000	B
Piophilidae casei(Rab2; Piophilidae)	3	1,0000	B
Sarcophaga africa(Rab2; Sarcophagidae)	3	1,0000	B
Sarcophaga africa(Dog2; Sarcophagidae)	3	0,6667	B
Muscina stabulans(Dog1; Muscidae)	3	0,6667	B
Lucilia illustris(Dog2; Calliphoridae)	3	0,3333	B
Musca domestica(Dog1; Muscidae)	3	0,0000	B
Calliphora vomitoria(Dog2; Calliphoridae)	3	0,0000	B
Muscina sp(Dog2; Muscidae)	3	0,0000	B
Musca sp(Dog2; Muscidae)	3	0,0000	B
Lucilia sericata(Dog2; Calliphoridae)	3	0,0000	B
Phormia regina(Dog1; Calliphoridae)	3	0,0000	B
Fannia sp(Dog2; Fanniidae)	3	0,0000	B
Musca domestica(Dog2; Muscidae)	3	-0,0000	B
Sarcophaga sp(Dog2; Sarcophagidae)	3	-0,0000	B
sarcophaga carnaria(Rab2; Sarcophagidae)	3	-0,0000	B
Fannia canicularis(Rab 1; Fanniidae)	3	-0,0000	B
Lucilia illustris(Rab2; Calliphoridae)	3	-0,0000	B
Hydrotaea capensis(Rab 1; Muscidae)	3	-0,0000	B
Phormia regina(Rab2; Calliphoridae)	3	-0,0000	B
Muscina sp(Dog1; Muscidae)	3	-0,0000	B
Phormia regina(Dog2; Calliphoridae)	3	-0,0000	B

Dans la dernière phase de décomposition cadavérique (squelettisation), l'analyse du tableau 26, montre une dominance des adultes de l'espèce *C.vicina* (Rab1), car il y a eu une émergence massive des pupes. On remarque aussi la présence d'une espèce appartenant au groupe (A) en dehors de la famille des Calliphoridae et qui appartient à la famille des Muscidae (*Musca sp*) avec une moyenne de 9 spécimens signalé dans la première expérience (Dog1) ce qui est important par rapport aux espèces qui restent dans cette phase (Fig.52).

III.3.2.2. Analyse multi-variées :

a) Analyse hiérarchique ou classification hiérarchique :

L'utilisation des méthodes de classification numérique, en complément à l'analyse de la variance, est peu courante. La bibliographie qui concerne cette approche est d'ailleurs relativement limitée. Ces méthodes de regroupement des moyennes sont très nombreuses et très diversifiées. Mais il apparaît heureusement qu'en matière de classification de moyennes, les résultats obtenus sont dans l'ensemble peu dépendants des méthodes utilisées.

Le regroupement des 4 expérimentations en fonction du nombre de prélèvement par stade de développement lors des différentes phases de décomposition cadavérique (Annexe 4), au moyen d'un dendrogramme à l'aide du lien simple et de la distance carrée de Pearson et pour un niveau de similarité minimale de 83,95%, permet de distinguer trois groupes homogènes distincts qui sont les suivants (Fig.56) :

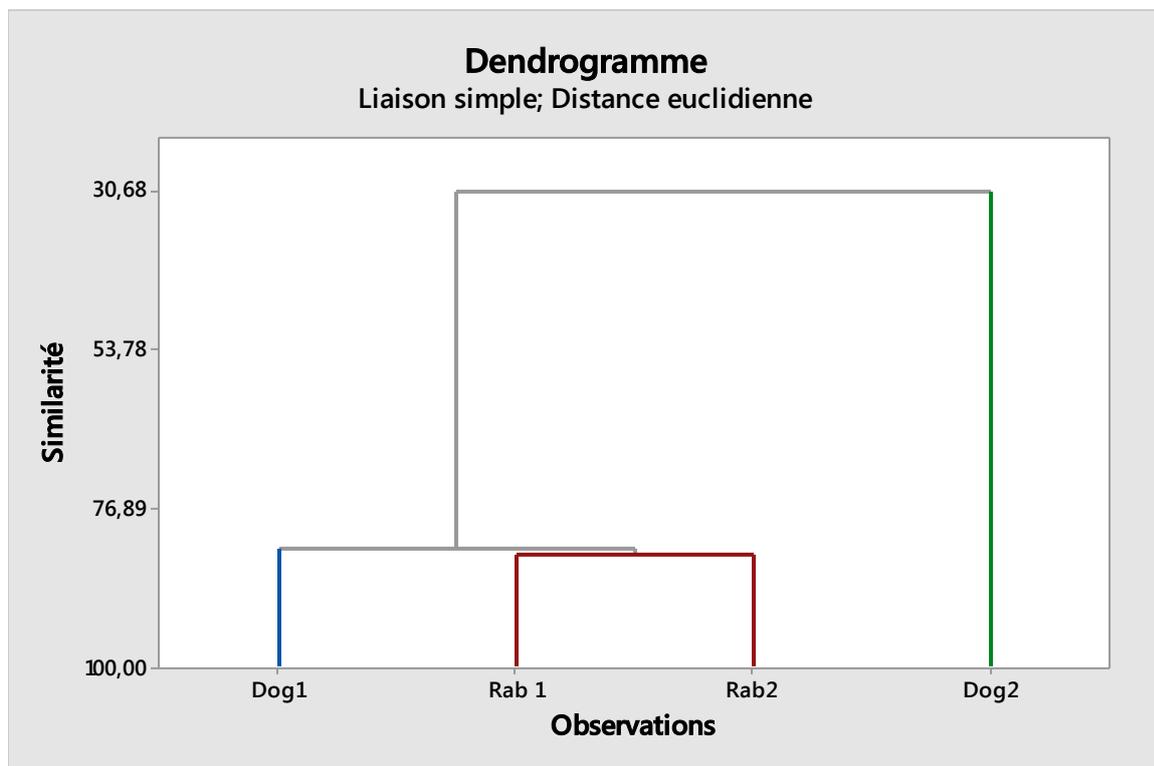


Fig.56 : Dendrogramme du regroupement des 4 expérimentations, obtenu à l'aide du lien simple et la distance carrée de Pearson.

Le premier groupe est représenté par l'expérience (Dog2), qui a été effectuée dans un verger d'oranger, un endroit fermé, Cette expérience se caractérise par un nombre de capture important pour les larves et pupes ainsi que les adultes par rapport aux autres expériences.

Le deuxième groupe qui est représenté par l'expérience (Dog1), est une expérience effectuée sur un chien dans un champ de blé qui est un endroit ouvert. Cet endroit facilite certes l'attraction des mouches nécrophages mais la capture des adultes est difficile. Cet état de fait explique que le nombre de capture des différents stades, surtout les adultes est moins important par rapport à l'expérience (Dog2) bien que ces deux expériences soient effectuées sur des cadavres du même genre (chien) et de poids similaire.

Le troisième groupe est représenté par les expériences (Rab1 et Rab2), lesquelles sont effectuées sur des cadavres du même genre (Lapin) avec des poids presque similaires mais inférieur aux deux cadavres utilisés dans les deux expériences précédentes et ces deux cadavres (Rab1 et Rab2) sont posés au même endroit, ce qui explique le nombre de capture des différents stades de mouches nécrophages inférieur par rapport aux expériences Dog2 et Dog1.

Par ailleurs, le regroupement des familles dans les différentes expériences au moyen du lien simple et de la distance basée sur le coefficient de corrélation (Annexe 4), donne trois groupes homogènes, pour un taux de similarité de 88,39%, qui sont les suivants (Fig.57) :

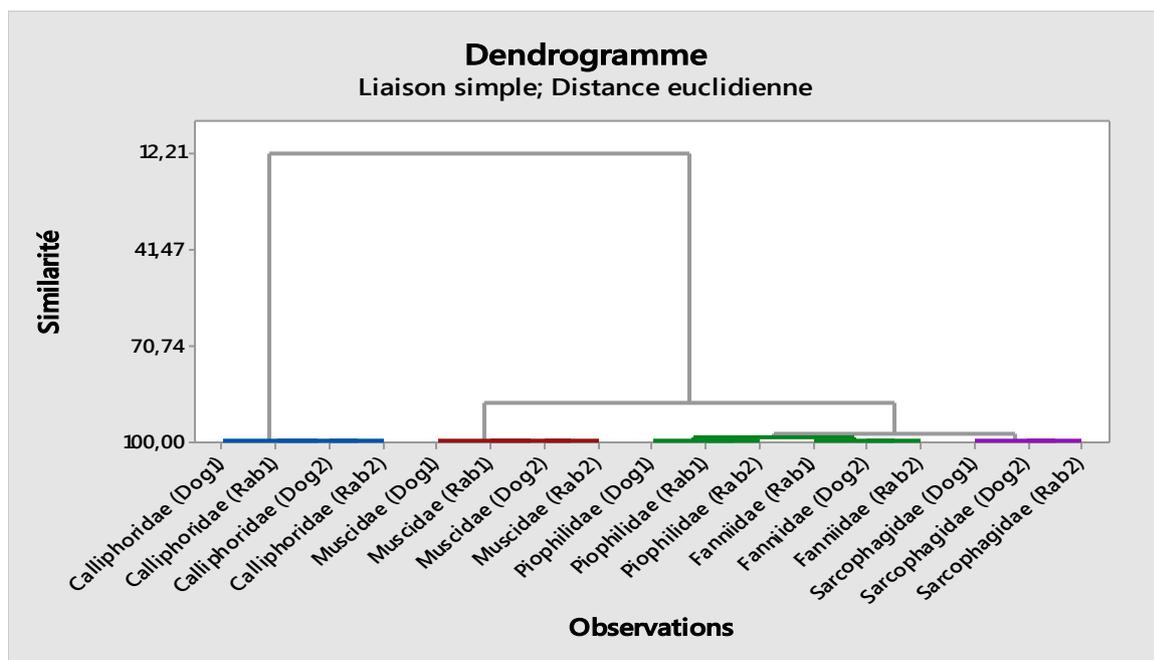


Fig.57 : Dendrogramme du regroupement des 5 familles dans les 4 expériences, obtenu à l'aide du lien simple et de la distance du coefficient de corrélation.

Le premier groupe qui est composé par la famille des Calliphoridae qui domine largement dans l'ensemble des captures dans les différentes phases de décomposition cadavérique avec un niveau de similarité de 100%.

Le second groupe est composé par la famille des Muscidae qui vient en deuxième position par leur nombre de capture après la famille des calliphoridae.

Le troisième groupe est composé par les trois autres familles qui restent les Piophilidae, les Fanniidae et les Sarcophagidae avec un niveau de similarité de 97.73%. Ces trois familles présentent un nombre de capture beaucoup moins important par rapport au deux familles précédentes.

III.1.1. Analyse des résultats d'élevage des mouches nécrophages:

L'élevage au laboratoire de deux espèces les plus fréquemment récoltées durant la période de notre expérimentation : *Calliphora vicina* et *Lucilia sericata* qui appartiennent à la famille des Calliphoridae, est effectué dans un incubateur programmé à 20°C (la technique d'élevage est expliquée précédemment).

Les deux boîtes d'élevages sont mises en incubateur, la première à 10 heures du matin contenant des œufs de *C.vicina*, la deuxième à 13 heures et contient des œufs de *L.sericata*.

La température moyenne journalière en incubateur est de 20°C. La température effective est calculée en soustrayant le seuil minimal ou 'lower threshold' t_l de la température moyenne journalière en incubateur. La valeur de la température seuil minimum est également propre à chaque espèce $t_l = 2^\circ\text{C}$ pour *C.vicina* et 9°C pour *L.sericata* (Marchenko, 2011).

Le calcul de la durée de développement de chaque stade et ce jusqu'à l'émergence de chacune de deux espèces sont mentionnés dans le tableau suivant (Tab.27).

Tab. 27 : Calcul de la durée de développement des espèces : *C.vicina* et *L. sericata*.

jour	<i>Calliphora vicina</i>			<i>Lucilia sericata</i>		
	St de D	T° moy.j.incub (°C)	T° eff (°C) (T _{min} =2°C)	St de D	T° moy.j.incub (°C)	T° eff (°C) (T _{min} =9°C)
1 à 10 h * à 13 h *	œuf	20	18	œuf	20	11
2 à 8h * à 8h**	L1	20	16,3	L1	20	6,8
3 à 11h* à 18**	L2	20	18,8	L2	20	15,1
4 à 14h* à 17**	L3	20	21,3	L3	20	14,3
5	L3	20	18	L3	20	11
6	L3	20	18	L3	20	11
7	L3	20	18	L3	20	11
8	L3	20	18	L3	20	11
9	L3	20	18	L3	20	11
10	L3	20	18	L3	20	11
11	L3	20	18	L3	20	11
12	L3	20	18	L3	20	11
13	L3	20	18	L3	20	11
14 à 8h*	P	20	16,3	L3	20	11
15 à 15h**	P	20	18	P	20	12,6
16	P	20	18	P	20	11
17	P	20	18	P	20	11
18	P	20	18	P	20	11
19	P	20	18	P	20	11
20	P	20	18	P	20	11
21 à 8h*	A	20	16,3	P	20	11
22 à 8h**	/	/	/	A	20	6,8

L1, L2, L3 : Larve stade 1, 2, 3. P : pupes. A : Adulte.

St de D : stade de développement. T° moy.j.incub : Température moyenne en incubateur.

T° eff : Température effective. (*) : La première espèce *C.vicina*. (**) : La deuxième espèce *L. sericata*.

L'analyse de la figure 58 nous permet de constater que l'éclosion des œufs de l'espèce *C.vicina*, s'effectue le deuxième jour à environ 8H00 avec une accumulation de température effective de 34.3°C. Le passage du premier stade L1 au deuxième L2 s'effectue le troisième jour à 11H00 avec une accumulation de température de 53.1°C, il arrive à L3 le quatrième jour à 14H00 avec une accumulation de 74.4°C. Le stade pupe est atteint le 14^{ème} jour à environ 8H00 avec une accumulation de température effective de 252.7°C, l'émergence des adultes est atteinte le 20^{ème} jour avec une totalité de 377°C 5 qui représente la durée totale d'accumulation degré jour (Fig.58).

Pour la deuxième espèce *L.sericata* ; l'analyse du tableau (Tab.27), nous montre que après le dépôt des œufs dans l'incubateur à 13H00, l'éclosion est effectuée le 2^{ème} jour avant 8H00 avec une accumulation d'une somme de température effective de 17.8°C. Le passage du L1 à L2 s'est atteint le 3^{ème} jour à 18H00 et ce stade accumule une somme de température effective de 32.9°C.

Le stade L3 est atteint le 4^{ème} jour à environ 17H00, avec une accumulation de température effective de 47.2°C. 11 jours après les larves du L3 sont transformés en pupes (c'est à dire le 15 jour) avec une accumulation de température de 169.8°, l'éclosion des pupes est survenue le 22^{ème} à environ 8h00 avec une accumulation d'une somme totale de 242.6°C (Fig58).

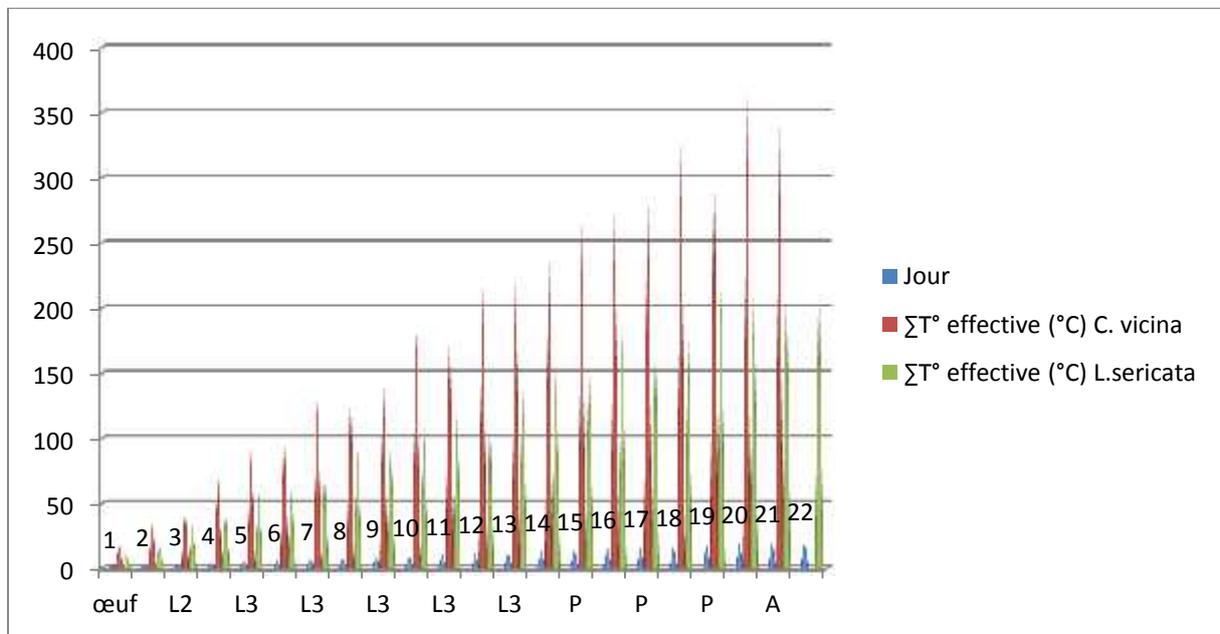


Fig. 58 : Durée d'accumulation degré jour des espèces mise en élevage.

Chapitre IV : Discussion

IV.1. Composition faunistique globale des Diptères nécrophages :

La composition des taxons de l'entomofaune de Diptères attirés par les carcasses de chiens et de lapins au niveau du genre et de la famille est semblable à ce qui a été rapporté dans des études antérieures (Payne 1965 ; Anderson et VanLaerhoven 1996 ; Bourel et al. 1999 ; Grassberger et Frank 2004, Al-Mesbah et al. 2012).

Durant notre période d'expérimentation sur quatre cadavres déposés dans des endroits différents, l'analyse de la composition faunistique globale des Diptères nécrophages révèle l'existence d'une faune diversifiée ($H' = 1.76$) représentée par 18 espèces. Ces espèces appartiennent à cinq familles à savoir : Muscidae, Sarcophagidae, Piophilida, Fanniidae et Calliphoridae. Cette dernière famille est largement dominante avec un 87% de l'ensemble de la faune récoltée. C'est dans cette famille que l'on trouve les espèces les plus importantes pour la pratique de l'entomologie forensique ; ces mouches nécrophages sont représentées par 6 genres, soit *Calliphora*, *Chrysomya*, *Cynomya*, *Lucilia*, *Protophormia* et *Phormia*. Dans chaque genre il y a une ou plusieurs espèces nécrophages dont les larves peuvent effectuer leur cycle complet sur des cadavres d'animaux ou humains (Wyss et Cherix, 2014). Dans notre étude on a pu récolter 4 genres *Calliphora*, *Chrysomya*, *Lucilia* et *Phormia* avec différentes proportions.

Ce groupe est extrêmement important car il contient plus de 1000 espèces et les membres de cette famille peuvent être trouvés partout dans le monde (Byrd et Castner 2010).

Au cours de la première phase de décomposition des cadavres qui dure en moyenne 3 jours, il a été noté que les pontes des masses des œufs sont localisées principalement au niveau des orifices naturels et des plaies. Le choix de ces sites de ponte est due à la fragilité des œufs et des jeunes larves qui se nourrissent préférentiellement sur des tissus mous (Charabidzé, 2008).

Les résultats globaux des espèces récoltées montrent que les valeurs de l'abondance relative varient d'une espèce à l'autre et les espèces qui appartiennent à cette famille sont les plus fréquemment rencontrées c'est le cas de : *C.vicina* avec un taux de 49.06%, suivi de *L.sericata* avec et *C.vomitorea* avec respectivement 15.06% et 11.33% et enfin *L.illustris* avec 8.59%.

C. vicina est probablement l'espèce nécrophage la plus connue au monde. Elle est cosmopolite et elle se trouve dans les régions tempérées et subtropicales. Elle se rencontre en toutes saisons, tant à l'intérieur des habitations que dans le milieu naturel. Toutefois, les

populations situées dans les pays du nord de la méditerranée entrent en diapause durant les périodes les plus froides (Saunders, 1987) ; Les adultes de cette espèce sont attirés par la plupart des types de matières en décomposition et la fréquente pourriture des fruits, de la viande en décomposition, et des matières fécale. Par contre, les larves se trouvent principalement sur les cadavres en décomposition.

L'espèce *C.vicina* est extrêmement fréquente sur les cadavres humains comme cela a été signalé aux Etats unis et en Europe, dans les régions tempérées. Alors que dans les zones tempérées c'est plus tôt une espèce de printemps et d'automne. Dans les régions subpolaires, c'est une mouche d'été (Smith, 1986 ; Wyss et Cherix, 2006; Byrd et Castner, 2010). Ces auteurs rapportent que cette espèce préfère les endroits ombragés, les habitats urbains et qu'elle est une espèce dominante sur cadavre humain. Cette espèce est également connue pour produire des myiases chez les humains et les animaux (Erzinclioglu, 1985; Greenberg, 1971; Hall et Townsend 1977; Nuorteva 1977).

Dans 160 enquêtes traitées par Faucherre *et al.*, (1999), *C. vicina* a été trouve à 69 reprises en toutes saisons et à toutes altitudes avec un taux de 43.12%, ce taux se rapproche de nos résultats obtenus pour l'ensemble des expérimentations établies sur saisons d'hiver et de printemps. Par ailleurs, durant toute la période expérimentale nous avons constaté que la température moyenne journalière dans la région d'étude n'a pas franchi un seuil inférieur de 6°C. Cette constatation relative au fait que cette espèce supporte les températures relativement basses est soutenue par Wyss et Cherix (2006) et Dekeirsschieter *et al.* (2009).

L. sericata est une espèce cosmopolite, elle est distribuée mondialement. C'est l'une des espèces les plus abondantes dans les zones tempérées de l'hémisphère nord. Fortement synanthrope (espèces non domestiques vivant à proximité de l'homme). Elle est trouvée à plusieurs reprises sur des cadavres humains, découverts essentiellement dans des appartements (Wyss et Cherix, 2014). On la trouve également en abondance sur les cochons et dans les pièges attractifs jusqu'à 900 mètres d'altitude. Dans nos expérience elle est représenté par un taux important de capture, cette espèce est utilisée aussi en médecine ; Les larves sont déposées sur les tissus nécrosés dont elles se nourrissent, sans toucher les tissus sains (Leclerc, 1990).

C. vomitoria avec *C. vicina* sont parmi les premiers à coloniser un corps. Dans plusieurs régions du monde, c'est une espèce peut-être le plus initialement présentes sur le corps. L'un des premiers indices sur leur colonisation est la présence d'œufs sur le cadavre (Gennard, 2007). *C. vomitoria* a une distribution holarctique, et montre une préférence pour les régions

plus fraîches ou d'altitude. Cette espèce est trouvée toute l'année et jusqu'à de hautes altitudes, *C. vomitoria* est également présente dans les habitations. Elle est capturée avec des taux importants dans des enquêtes menées par plusieurs auteurs trouvée même dans des cadavres à l'intérieur des appartements (Wyss et Cherix, 2015 ; Gennard, 2007). Elle a été trouvée pendant sur un cadavre enfoui dans de la neige glacée, en compagnie de *C. vicina* (Wyss et al., 2003).

L. illustris est très commune et se rencontre dans toute la région paléarctique et néarctique. Fortement synanthrope au nord de l'Europe, elle aime les lieux ensoleillés, préférant les milieux ouverts aux milieux forestiers, ce qui explique son taux élevé de capture dans la première expérience (Dog1) posé dans un milieu ouvert (champ de blé). Elle est trouvée à plusieurs reprises sur des cadavres humains ainsi que sur les cochons et dans les pièges attractifs jusqu'à 1100 mètres d'altitude (Wyss et al., 2003).

D'autres espèces appartenant à la famille des Calliphoridae sont capturées avec de faibles taux proportions : *Ph. regina* (2.15%) et *Ch. albiceps* (1%).

Nos résultats de capture coïncident avec ce qui est dit dans la littérature, *Ch. albiceps* assez rare et peu connue dans plusieurs régions du monde. Elle se rencontre aussi dans la région nearctique et à Hawaï. Considérée comme une espèce supportant des températures assez basses, elle se trouve en hiver au sud des États-Unis et en été au nord des États-Unis et au Canada (Wyss et Cherix, 2014).

Avec une distribution circumméditerranéenne il est important de signaler que *Ch. albiceps* a été signalée récemment dans plusieurs pays en Europe (Autriche, Belgique, Italie, République Tchèque, Suisse) (Wyss et Cherix 2006, 2013 ; Gosselin et Braet, 2008 ; Lambiase et Camerini 2012). Diverses interprétations ont été formulées suite à sa découverte au nord de son aire de distribution originale ; tel que réchauffement climatique, migrations (Grassberg et al., 2003). Mais il convient de relever que Seguy, dans son ouvrage de 1941, signale déjà que cette espèce peut se rencontrer dans la région parisienne.

C. albiceps pourrait être une mouche migratrice, originaire du sud et abondante en Afrique. Cependant, il convient d'être très prudent lorsque l'on interprète la distribution et l'expansion d'espèces à biologie particulière (Wyss et Cherix, 2014).

Le deuxième et le troisième stade larvaire de *Ch. albiceps* sont des prédateurs d'autres larves lorsque l'occasion se présente (cela s'appelle un prédateur facultatif), tandis que les larves du premier stade se nourrissent des tissus fluides ou liqueur de décomposition. Cette espèce ne peut pas terminer son développement en dessous de 15°C, sauf si elle est présente en nombre

suffisant formant ainsi une masse larvaire qui élève la température locale pour les larves (Grassberger *et al.*, 2003).

D'autres familles de Diptères nécrophages sont signalé par leur présence au niveau des cadavres, malgré leurs faibles proportions il s'agit des Muscidae avec un taux 9% dans l'ensemble des captures, les Sarcophagidae avec 2% et les Piophilidae et les Fanniidae avec 1% chacune.

Les Muscidae sont d'une grande importance médico-légale en raison de leur large Muscidae ont tendance à arriver sur le corps après les Calliphoridae et les Sarcophagidae ce qui est remarqué dans notre étude. Ils pondent souvent leurs œufs dans les ouvertures naturelles du corps, sur les sites d'une plaie, ou dans les vêtements de fluide imbibé. Les larves se nourrissent directement sur charognes (Castner *et al.*, 1995).

Dans notre travail la famille les Muscidae est représentée par 3 espèces : *Musca domestica*, *Muscina stabulans*, *Hydrotaea capensis* avec les proportions 2.16%, 1.32% et 0.58% respectivement. Deux autres sont identifiées jusqu'au genre seulement : *Musca sp* avec 3.09% et *Muscina sp* avec 1.68%.

M. domestica (la mouche domestique), dont la distribution est mondiale, se retrouve assez souvent sur les cadavres en compagnie des espèces de Calliphoridés (Wyss et Cherix, 2014). Dans nos expérimentations, nous n'avons pas rencontré de larves sur les différents cadavres. Ce résultat corrobore celui de Wyss et Cherix (2014). Ces auteurs rapportent que *M.domestica* ne pond pas sur les cadavres.

Les représentants de la famille des Sarcophagidae se retrouvent partout dans le monde, avec la plupart des espèces se produisant soit dans les régions tempérées tropicales ou chaudes. Les adultes sont fréquents et souvent localement abondantes. Ils se nourrissent des tissus de décomposition humaine et animale, ainsi que sur la végétation en décomposition (Castner *et al.*, 1995). Quelques espèces seulement semblent être nécrophages dans cette famille, le mode de vie des larves est très varié. Dans notre étude, nous avons trouvé un seul individu adulte de *S. carnaria* avec un faible taux de 0.02% ce qui la qualifie d'accidentelle. En effet cette espèce étant uniquement prédatrice de vers de terre (Eberhardt et Steiner, 1952 ; Kirchberg, 1961 in Wyss et cherix, 2014), expliquerait ce résultat.

S. africa est trouvé avec un taux important sur les cadavres contrairement à *S. carnaria*. Selon Szpila et al., (2010) et Cherix et al., (2012) cette espèce est signalée à plusieurs reprises sur des cadavres.

Les Piophilidae sont plutôt des espèces des zones froides de l'hémisphère nord. Seules quelques espèces présentent un intérêt forensique (Martin-Vega, 2011). *Piophila casei*, surnommée la mouche du fromage, est la mieux connue dans cette famille. Les larves de cette espèce se rencontrent non seulement sur des fromages, mais aussi sur de la matière organique en décomposition, parfois sur des cadavres humains ou d'animaux. Dans notre étude, nous rapportons la présence de cette espèce qui apparaît tardivement à la fin des stades de décomposition avec un moins important de 0.91%.

Les Fanniides ont souvent été classées par erreur dans les Muscides. Elles sont considérées aujourd'hui comme une famille à part entière (Matile, 1995 in Wyss et Cherix, 2014). On a pu récolter une seule espèce ; *Fannia canicularis* avec un taux de 0.15% de l'ensemble des captures. Cette espèce se rencontre sur des cadavres, le plus souvent altérés par le temps (quelques semaines à plusieurs mois) (Wyss et Cherix, 2006). ce qui a été constaté durant la période de notre expérimentation (cette espèce est attirée tardivement sur les cadavres).

IV.2. Relation de la faune nécrophage avec les stades de décomposition cadavérique :

Pendant la première phase de décomposition du cadavre qui dure entre 2 et 4 jours suivant la nature du cadavre et la température du milieu, il a été noté que des œufs ont été pondus dans les ouvertures naturelles et dans les plaies principalement; le choix des sites de ponte est due à la fragilité des œufs et des jeunes larves (Charabidzé, 2008).

C. vicina est la première espèce attirée et récoltée sur les cadavres, la plus fréquente avec plus de 60% et qui est présente dès le premier jour. Ces résultats coïncident avec ceux de Wyss et Cherix (2006), qui rapportent que *C. vicina* est présente dès le premier jour avec des proportions importantes.

Pendant la phase de gonflement, il a été noté la présence d'une masse larvaire conséquente appartenant à plusieurs espèces de la famille des Calliphoridae, principalement ; *C. vicina* qui représente plus de 75%, suivi par *L. sericata* et *C. vomitoria*. Durant cette phase, la forte proportion de *C. vicina* adulte, est rapportée dans plusieurs travaux (Ireland et Turner, 2006 ; Wyss et Cherix, 2006).

On a noté que lors de la phase de décomposition, plusieurs espèces adultes sont attirées sur les cadavres avec des proportions variables, c'est le cas de *M. domestica* la plus remarquablement présente après les principales espèces de la famille des Calliphoridae avec (21%). Cependant, aucune des larves de *M. domestica* ont été trouvés sur les carcasses au cours de période d'étude. Arnaldos et *al.*, (2005) déclare que les adultes de *M. domestica* dominent dans la période d'été dès le premier jour de l'exposition de la carcasse. Voss et *al.*, (2009) ont rapporté que les adultes de *M. domestica* se rendent régulièrement sur les cadavres, bien que la ponte est rare.

Au stade de squelettisation on note une différence intéressante révélée dans la présente étude, avec la capture d'un petit nombre d'adultes uniquement des Sarcophagidae, Piophilidae et Fanniidae en l'absence de ses larves. Dans la plupart des études menées antérieurement la famille des sarcophagidae a été jugée comme l'une des familles de Dipètres les plus importants dans le processus de la décomposition cadavérique (Matuszewski et *al.*, 2008 ; Tullis et Goff, 1987 ; Tabor et *al.*, 2004). Cependant, il semble que cette déclaration ne devrait pas être généralisée, étant donné que dans la présente étude aucune larve n'a été détectée comme pour les travaux d'Anderson et Van Laerhoven (2006), Matuszewski et *al.*, (2008) et Bourel et *al.*, (2009). Cela peut être dû au fait que plusieurs espèces du genre *Sarcophaga* sont des parasites de lombric comme l'espèce *S. carnaria* (Wyss et Cherix, 2006).

IV.3. Modèle de décomposition et leur relation avec la température du milieu et l'activité de la faune nécrophage :

Le modèle général de décomposition constaté dans la présente étude et qui se caractérise par la présence de 4 phase distinctes frais, gonflement, décomposition et squelettisations est conforme à d'autres études sur les charognes (Marchenko, 2001 ; Arnaldos et *al.*, 2004 ; Bourel, 1999). Des études antérieures ont montré que les stades de décompositions sont influencés par la température ambiante et les paramètres d'échange de chaleur du corps ainsi que par la présence de la faune cadavérique (Korshunov et *al.* 2003) Nos résultats confirment l'influence de la température ambiante du milieu et l'existence de la faune nécrophage sur l'occurrence des différentes phases de décompositions.

La vitesse de décomposition cadavérique peut être difficile à interpréter elle dépend de nombreux facteurs (Gunn, 2006). Parmi eux nous avons les conditions biotiques et abiotiques de l'habitat et le poids des cadavres. Selon Matuszewski (2008), ces différences dans la vitesse de décomposition sont tout d'abord une suite de diverses conditions abiotiques dans les sites

de recherche. C'est aussi que dans notre étude, les conditions abiotiques de notre premier site (Ramdane Djamel) et du deuxième site (université de Skikda) seraient semblables d'un point de vue sol. Cette approche pourrait expliquer en partie les différences de la vitesse de décomposition de nos substrats utilisés dans ces sites avec d'autres cadavres.

Pourtant ces deux cadavres ont été placés dans deux endroits différents, ce qui suggère que les conditions abiotiques seraient les mêmes. Cette interprétation doit cependant être traitée avec prudence car nous avons utilisé qu'une seule carcasse par site.

Selon Barton Browne (1962), certains facteurs abiotiques sont liés aux facteurs biotiques pour la vitesse de décomposition. Ce même auteur affirme que l'humidité du sol déterminent l'humidité de l'air près du sol ce qui permet d'augmenter le taux d'oviposition (ponte) de certaines espèces du genre *Licilia* (Calliphoridae) et par conséquent l'accroissement du nombre de larves qui se nourrissent sur le cadavre.

Dans nos investigations, les premières espèces à investir le cadavre pour l'élimination des tissus mous, appartiennent à la famille des Calliphoridae. Ces résultats corroborent les expériences antérieures d'Eberhardt et Elliot (2008) et Wang et al., (2008). Concernant la décomposition de la faune cadavérique par les calliphoridae, selon les saisons, les travaux de Bharti et Singh (2003) et Sharanowski et al., (2008) apportent qu'il y a une influence directe des saisons sur la vitesse de décomposition. Les observations faites par ces auteurs ne sont pas conformes à nos résultats des deux expériences menées sur les deux lapins (Rab1 et Rab2), au même endroit mais l'une effectuée au printemps et l'autre en hiver. Nos résultats ne montrent pas de différence significative dans la vitesse de décomposition des deux lapins durant ces saisons (Annexe 2).

Pour nos investigations, lors de la première phase de la décomposition des différents cadavres une forte diminution de la température corporelle a été observée, atteignant des niveaux en dessous de la température ambiante. ceci est expliqué par le refroidissement du corps après la mort, comme le confirme les travaux de Martinez et al., (2007) et Matuszewski (2008). Dans le cadre de l'entomologie médico-légale, la température corporelle est très rarement mentionnée. Elle est généralement considérée comme négligeable au regard des autres facteurs déterminant la vitesse de développement des insectes (température extérieure, dégagement de chaleur par les masses de larves, microclimat) (Charabidzé, 2008).

Au cours du stade de gonflement pour les trois expériences menées, nous avons observé grâce aux mesures des températures effectuées au niveau des agrégats larvaires, que la température du corps augmenter avec l'activité des larves in situ le processus de putréfaction. Les carcasses ont perdu environ 10% de leur poids initial. Les masses abondantes de larves ont été observées dans plusieurs zones tel que les orifices naturels, les plaies. Nous avons remarqué que les premiers et deuxièmes stades larvaires présents sur les carcasses, appartiennent à la famille des Calliphoridae. Il semblerait que ces stades larvaires ont tendance à l'agrégation à ce stade de gonflement et ce au détriment de la recherche de nourriture (Charabidzé, 2008). Sur un corps en décomposition, il est fréquent d'observer des masses de larves de Dipètres pouvant compter plusieurs centaines à plusieurs milliers d'individus. Selon Rivers et *al.*, (2011), les larves qui composent ces masses restent en contact physique (agrégat) et se nourrir au même endroit sur le cadavre.

Des pics de température de cadavre ont été enregistrés au cours de la 3ème étape de décomposition avec des valeurs maximales dans les 3 expériences, avec un développement important des masses larvaires. La formation des masses de larves est généralement considérée comme facilitant le développement des individus, en augmentant la température locale et en favorisant l'alimentation (Baxter et Morisson, 1983). Une récente étude de Boulay et *al.*, (2013) a permis de démontrer que les larves de *L. sericata* ont un comportement d'agrégation actif autrement dit, quand les larves sont placées dans un environnement homogène, elles forment rapidement un agrégat qui au bout 24h, regroupe plus de 90% des individus. Cette expérience démontre que les larves ne sont pas simplement pondues agrégées, mais disposent de mécanismes actifs leur permettant de former des groupes stables. La même étude démontre l'existence d'un dépôt laissé sur le substrat par les larves. Ce dépôt est détecté par les congénères, qui restent préférentiellement dans les zones déjà traversées par d'autres larves. La trace laissée au sol par les larves de *L. sericata* est donc un probable vecteur d'agrégation, elle jouerait le rôle de feedback positif pour la formation du groupe et son maintien.

La conséquence la plus directe de la formation des masses de larvaires est l'augmentation in situ de la température. Ce facteur est de toute première importance dans le cadre de l'entomologie médico-légale, car il peut entraîner une vitesse de développement accrue, ayant pour conséquence une perte importante de poids. Des expériences réalisées afin de caractériser le dégagement de chaleur engendré par les masses de larves indiquent une relation liant la température de l'agrégat à sa masse (Charabidzé, 2008). Du fait de ce comportement

grégaire très prononcé, les larves sont en constante bousculade au sein des agrégats. Cette intense activité génère un dégagement de chaleur métabolique pouvant atteindre plusieurs dizaines de degrés, ce qui est remarqué dans nos expérimentations. Plus la quantité de larve est importante, plus le dégagement de chaleur est élevé (Charabidzé et *al.*, 2011). Cette augmentation de température est propice au développement des larves puisqu'elle permet de diminuer sa durée et de ce fait, le temps passe sur le cadavre, limitant ainsi les risques de prédation.

A la fin de la décomposition cadavérique, la quasi totalité du poids initial est perdu, il ne reste seulement qu'une peau sèche et les os et la disparition des masses larvaires. Les larves ont tendance à s'éloigner des corps. On observe un changement de comportement des larves de Calliphoridae durant la phase précédant la nymphose. Les stades larvaires L1, L2 et L3 ont un comportement tel que les larves fuient la lumière (photophobie), recherchent des congénères et s'alimentent, ces comportements s'inversent durant le stade prépupe. Les larves cessent alors de se nourrir, quittent le cadavre (en s'orientant notamment grâce à la lumière) et cherchent un endroit sûr pour s'empuper. Plusieurs études se sont intéressées à la distance que les prépupe peuvent parcourir (Gomes et *al.*, 2006 ; Roux et *al.*, 2006), à la profondeur d'enfouissement (Gomes et Von Zuben, 2005), à l'influence de la température sur la masse des pupes et leur enfouissement (Gomes et *al.*, 2009) ou encore les interactions entre congénères lors de ce processus (Lima et *al.*, 2009). Cette migration revêt en effet une importance particulière dans le cadre d'une datation entomologique du décès, car il est important de prélever les individus les plus âgés, qui sont souvent les prépupe où les pupes. Il est donc essentiel de savoir où les larves prépupe se sont dispersées.

Conclusion générale :

Les études sur les Diptères nécrophages en Algérie étant relativement inexistantes et une connaissance approfondie des espèces importantes en entomologie médico-légale s'avèrent indispensable. En effet, les populations des Diptères nécrophages peuvent varier considérablement suivant la région, la saison, l'altitude, la topographie et encore la végétation.

Les expérimentations réalisées sur des cadavres animaux (chiens et lapins), permettent une première synthèse sur la distribution, l'abondance et la phénologie des mouches nécrophages d'importance forensique. Il en ressort clairement que la famille des Calliphoridae est la famille qui domine dans chacune des quatre expériences tout au long des périodes de capture, de façon relativement uniforme. Cette dominance est expliquée par le taux important de capture de larves, pupes et adultes de cette famille pour atteindre 87% de l'ensemble des captures.

Les résultats d'identification des spécimens appartenant à cette famille, nous ont permis de recenser six espèces. *C.vicina*, *C.vomitoria*, *L.sericata*, *L.illistris*, *Ph. regina* et *Ch.albusins*. *C.vicina* est l'espèce qui est essentiellement représentée avec plus de 49%, c'est une espèce à large distribution géographique, qu'on retrouve en toutes saisons, tant à l'intérieur des habitations que dans le milieu naturel.

En outre dans notre étude on a pu identifier 12 autres espèces appartenant à quatre familles à savoir Muscidae, Sarcophagidae, Piophilidae et Fanniidae. L'analyse des résultats par les indices écologiques de diversité nous a permis de conclure que la population des Diptères nécrophages récoltée durant notre période d'étude dans les quatre expériences, est diversifiée ($H' = 1.76$) et que cette population est peu équilibrée ($E=61\%$) vue la dominance de certains espèce par rapport aux autres.

L'étude de la relation des températures du milieu et du corps avec la décomposition cadavérique, nous a permis de constater que sur un corps en décomposition, il est fréquent d'observer des masses de larves de Diptères pouvant compter plusieurs centaines à plusieurs milliers d'individus. Plus la quantité de larve est importante, plus le dégagement de chaleur est élevé (Charabidze et al., 2011).

Les larves nécrophages ont de faibles capacités de déplacement et sont donc généralement inféodées au cadavre sur lequel elles ont été pondues. Cette spécificité permet d'exploiter leur

Conclusion générale

présence afin de déterminer un intervalle post mortem minimum (IPM min) basé sur leur âge. Les larves étant entièrement tributaires du cadavre pour leur alimentation et leur développement, elles disposent de stratégies permettant d'exploiter cette ressource efficacement. Le grégarisme des larves de certains Diptères Calliphoridae est une des adaptations les plus marquantes. En se regroupant, elles modifient leur environnement et parviennent à s'alimenter plus facilement et à augmenter la température *in situ* afin de se développer plus rapidement. Ce comportement, simple en apparence mais complexe dans les faits, reste mal compris. Il peut cependant affecter la durée totale de développement des larves et biaiser l'estimation de l'intervalle post mortem.

La principale finalité des sciences forensiques est l'utilisation des connaissances issues de l'observation et de la recherche en vue de fournir des éléments de réponses aux questions que se pose la justice. L'application entomologique la plus connue du public en matière de criminalistique est celle consistant à estimer la date de mort, en tirant parti du fait que certaines espèces de Diptères, appartenant principalement aux Calliphoridae, peuvent venir déposer leurs œufs sur un cadavre dans les premières minutes ou les premières heures suivant le décès. Si les circonstances sont favorables, le délai entre le moment du décès et la ponte est très court et le jour de la ponte peut des lors être raisonnablement assimilé à celui du décès. Il s'agit donc du calcul d'une date de ponte, suivie de l'estimation d'une date de mort.

Au demeurant, la présente étude constitue un premier pas vers l'élaboration d'une base de données aussi complète sur les Diptères nécrophages inféodés aux cadavres dans notre pays. Un important travail d'observation et d'expérimentation est donc nécessaire afin d'améliorer les connaissances quant à la biologie et au comportement de ces espèces. D'un point de vue appliqué ces insectes permettent également d'évaluer l'effet des drogues et des toxines sur le développement des larves et ce par le dosage toxicologique *post.mortem*.

Le recours à des techniques de datation de la mort par le biais des insectes nécessite en effet que les médecins légistes, les techniciens de scène de crime, mais également les magistrats, soient formés spécifiquement à cette méthode, une collaboration avec le laboratoire d'entomologie médico-légale de la gendarmerie nationale au sein de l'institut national de criminologie et criminalistique (INCC), devrait être envisagée pour mener à bien cette discipline en Algérie.

Références bibliographiques:

- Adams, Z.J.O. & Hall, M.J.R. (2003). Methods used for killing and preservation of blowfly larvae, and their effect on post mortem larval length. *Forensic Science International*, 138: 50-61.
- Al-Mesbah, H., Moffatt, C., El-Azazyc, O.M.E. & Majeedd, Q.A.H.(2012) The decomposition of rabbit carcasses and associated necrophagous Diptera in Kuwait. *Forensic Science International*, 217: 27-31
- Ahi, R.S. & Garg, V. (2011) Role of vitreous potassium level in estimating postmortem interval and the factors affecting it. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 5: 13-15.
- Amendt, J., Krettek, R., Niess, C., Zehner, R., & Bratzke, H. (2000). Forensic entomology in Germany. *Forensic Science International*, 113:309-14.
- Amendt, J., Krettek, R. & Zehner, R. (2004) Forensic entomology. *Naturwissenschaften*, 91, 51-65.
- Amendt J., Campobasso C.P., Gaudry E., Reiter C., LeBlanc H.N. & Hall M.J.R. (2007). Best practice in forensic entomology – standards and guidelines. *International Journal of Legal Medicine*, 121 (2): 90-104.
- Amendt, J., Campobasso, C., Goff, M.L. & Gassbuger, M. (2010) *Current concepts in forensic entomology*. Springer, pp. 377.
- Anderson, G.S., VanLaerhoven S.L. (1996) Initial studies on insect succession on carrion in Southwestern British Columbia. *Journal of Forensic Science*, 41: 617-625.
- Anderson, G.S. (2001) Insect succession on carrion and its relationship to determining time of death. In *Forensic entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations* (ed. by J.H. Castner & J.L. Byrd).CRC Press, Boca Raton, FL, pp.143-169.
- Anderson G.S. & Van Laerhoven S.L. (2006) Initial studies on insect succession on carrion in southwestern British Columbia. *J.Forensic Sci*, 41:617-625.
- Arnaldos, M.I., Romera, E., Presa, J.J., Luna, A. & Garcia, M.D. (2004) Studies on seasonal arthropod succession on carrion in the southeastern Iberian Peninsula. *Int. J. Legal Med*, 118: 197-205.
- Arnaldos, M.I., Garcia, M.D., Romera, E., Presa, J.J. & Luna, A. (2005) Estimation of postmortem interval in real cases based on experimentally obtained entomological evidence. *Forensic Sci. Int*, 149:57-65.
- Arnaud, L., Detrain, C., Gaspar, C. & Haubruge, E. (2003) Insectes et communication. *Le journal des ingénieurs*, 87: 25-27.

Références bibliographiques

- Auberon, C., Boulay, J. & Charabidzé, D. (2014) Comportement et développement des larves nécrophages. In *Insectes, cadavre et scènes de crime: Principe et application de l'entomologie médico-légale* (ed. By D. Charabidzé & M. Gosselin). De boeck, pp. 79-90.
- Avila, F.W. & Goff, M.L. (1998) Arthropod succession patterns onto burnt carrion in two contrasting habitats in the Hawaiian Islands. *Journal of Forensic Science*, 43:581–586.
- Barton Browne, L. (1962) The relationship between oviposition in the blowfly *Lucilia cuprina* and the presence of water. *Journal of Insect Physiology*, 8: 383-390
- Baxter, J. A. & Morisson, P. E. (1983) Dynamics of growth modified by larval population density in the flesh fly, *Sarcophaga bullata*. *Canadian J. Zoology*, 61: 512-17.
- Benecke, M. (2001) A brief history of forensic entomology. *Forensic Science International*, 120 (1–2): 2-14.
- Benecke, M. Joseph,i E., Zweihoff, R. (2004) Neglect of the elderly: forensic entomology cases and considerations. *Forensic Science International*, 46:195–199.
- Bharti, M. & Singh, D. (2003) Insect faunal succession on decaying rabbit carcasses in Punjab, India. *Journal of Forensic Science*, 48:1-11.
- Bonnet, X., Bradshaw, D. & Shrine, R. (1998) Capital versus income breeding: an ectothermic perspective. *Oikos*, 83: 333-342.
- Boulay, J., Devigne, C., Gosset, D. & Charabidze D. (2013) Evidence of active aggregation behaviour in *Lucilia sericata* larvae and possible implication of a conspecific mark. *Animal Behaviour*, 85: 1191-1197.
- Bourel, B., Martin-Bouyer, L., Hedouin, V., Cailliez, J.C., Derout, D. & Gosset, D (1999) Necrophilous insect succession on rabbit carrion in sand dune habitats in northern France. *Journal of Medical Entomology*, 36:420- 425.
- Bourel, B., Tournel, G., Hedouin, V., Deveaux, M., Goff, M. L. & Gosset, D. (2001) Morphine extraction in necrophagous insects remains for determining ante-mortem opiate intoxication. *Forensic Science International*, 120:127-31.
- Bryd, J. H., & Castner, J. L. (2009) Forensic entomology: The utility of arthropods in legal investigations. 2nd edition. CRC Press LLC, Boca Roton, FL, pp 708.
- Byrd, J. H. & Castner, J. L. (2010) Insects of forensic importance. In *Forensic entomology: the utility of using arthropods in legal investigations* (ed. by J.H. Castner & J.L. Byrd) CRC Boca Second Edition, Raton, FL, pp. 29-126
- Campobasso, C.P., Di Vella, G., Introna, F. (2001) Factors affecting decomposition and Diptera colonization. *Forensic Science International*, 120: 18-27.

Références bibliographiques

- Capinera, J. L. (2008) *Encyclopedia of Entomology*. London, New York: Springer. pp.1131.
- Carter, D. O., Yellowlees, D., Tibbett, M. (2006) Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften*, 94: 12-24.
- Cassier, P., Bohatier, J., Descoins, C. & Nagnan-Le Meillour, P. (2000) Communication chimique et environnement. *Belin 8*, Paris.
- Castner, J. L., Byrd, J. H. & Butler, J. F. (1995) Forensic insect field identification cards. *Colorado Springs, CO: Forensic Sciences Foundation*.
- Castner, J.L. (2010) General biology and insect entomology In *Forensic entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations* (ed. by J.H. Castner & J.L. Byrd).CRC Press, Boca Raton, FL, pp.17-38.
- Catts, E.P. & Goff, M.L. (1992) Problems in estimating the postmortem interval in death investigations. *Journal of Agricultural Entomology*, 9: 245-255.
- Charabidzé, D. (2008) *Etude de la biologie des insectes nécrophages et application à l'expertise en entomologie médico-légale*. Thèse préparée au sein du laboratoire de l'entomologie de l'institut de médecine légale, école doctorale biologie et santé, Lille, pp.277.
- Charabidzé, D., Bourel, B. & Gosset, D. (2011) Larval-mass effect: characterization of heat emission by necrophagous blowflies (Diptera: Calliphoridae) larval aggregates. *Forensic Science International*, 211: 61-66.
- Charabidze, D. & Gosselin M. (2014) *Insectes, cadavres et scènes de crime. Principes et applications de l'entomologie médico-légale*. Ed. De Boeck, pp. 261.
- Cherix, D., Wyss, C. & Pape, T. (2012) Occurrences of flesh flies (Diptera: Sarcophagidae) on human cadavers in Switzerland, and their importance as forensic indicators. *Forensic Science International*, 220: 158-163.
- Chinery, M. (2005) *Insectes de France et d'Europe occidentale*, Paris : Flammarion, pp. 192.
- Christopherson, C. & Gigo, D.L. (1997) Foraging by food deprived larvae of *Neobellieria bullata* (Diptera : Sarcophagidae). *Journal of Forensic Science*, 42: 71-73.
- Cianci, T.J. & Sheldon, J.K. (1990) Endothermic generation by blowfly larvae *Phormia regina* developing in pig carcasses. *Bulletin of the Society of Vector Ecology*, 15: 33-40.
- Daget J. (1976) *Les modèles mathématiques en écologie*. Coll. D'écologie. Ed. Masson, Paris, pp 172.
- Dagnélie, P. (2006) *Statistique théorique et appliquée*. Tom 2 : Inférences à une et à deux dimensions. Bruxelles-université De boeck et larcier. pp. 659.

- Dajoz R. (1971) Précis d'écologie Ed. Dunod Paris, pp 434.
- Day D.M., Wallman J.F. (2006). Width as an alternative measurement to length for post-mortem interval estimations from *Calliphora augur* (Diptera: Calliphoridae) larvae. *Forensic Science International*, 159: 158-167.
- Dekeirsschieter, J., Verheggen, FJ, Gohy, M, Hubrecht, F, Bourguignon, L, Lognay, G. & Haubruge, E. (2009) Cadaveric volatile organic compounds released by decaying pig carcasses (*Sus domesticus* L.) in different biotopes. *Forensic Science International*, 189: 46-53.
- Dekeirsschieter, J., Stefanuto, P.H., Brasseur, C., Haubruge, E. & Focant, J.F. (2012) Enhanced Characterization of the Smell of Death by Comprehensive Two-dimensional Gas Chromatography- time-of-flight Mass Spectrometry (GCxGCTOFMS). *PLOsONE*. 7(6): 39005.
- Dekeirsschieter, J., Frederickx, C., Lognay, G., Brostaux, Y., Verheggen, FJ. & Haubruge E. (2013) Electrophysiological and behavioral responses of *Thanatophilus sinuatus* Fabricius (Coleoptera : Silphidae) to selected cadaveric volatile organic compounds. *Journal of Forensic Sciences*, 58: 917-923.
- Dekeirsschieter, J., Charabidzé, D. & Haubruge, M. (2014) marcel Leclereq, un pionnier de l'entomologie forensique. In *Insectes, cadavre et scènes de crime: Principe et application de l'entomologie médico-légale* (ed. By D. Charabidzé & M. Gosselin). Deboeck, pp. 21-35.
- Denno, R.F. & Cothran, W.R. (1975) Niche relationships of a guild of necrophagous flies. *Annals of the Entomological Society of America*, 68: 741-754.
- Eberhardt T.L. & Elliot, D.A. (2008) A preliminary investigation of insect colonization and succession on remains in New Zealand. *Forensic Sci. Int.*, 176: 217- 223.
- Early, M. & Goff M.L. (1986) Arthropod succession patterns in exposed carrion on the island of O'ahu, Hawaiian Islands, USA. *Journal of Medical Entomology*, 23:520-531.
- Erzinclioglu, Y. Z. 1985. Immature stages of British *Calliphora* and *Cynomya* with a reevaluation of the taxonomic characters of larval Calliphoridae (Diptera). *Journal of Natural History*, 19:69-96.
- Erzinclioglu Y. Z. (1996) Blowflies. Naturalists' Handbooks, No. 23. Richmond Publishing: Slough.
- Estracanhollí, E.S., Kurachi, C., Vicente, J.R., Campos de Menezes, P.F., Castro e Silva Junior, O. & Bagnato, V.S. (2009) Determination of post-mortem interval using in situ tissue optical fluorescence. *Optics Express*, 17: 8185-8192.
- Faria, L. D. & Godoy, W. A. (2001). Prey choice by facultative predator larvae of *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*. 96: 875-8.

- Frederickx, C., Dekeirsschieter, J., Verheggen, F. J. & Haubruge, E. (2010) L'entomologie forensique, les insectes résolvent les crimes. *Faunistic Entomology*, 63 (4), 237-249.
- Faucherre, J., Cherix D. & Wyss C. (1999) Behavior of *Calliphora vicina* (Diptera, Calliphoridae) under extreme conditions. *Journal of Insect Behavior*, 12: 687-690.
- Galloway, A. (1997). The process of decomposition: a model from the arizona-sonoran desert. In *Forensic Taphonomy: the postmortem fate of human remains* (ed. by W.D. Haglund & M.H. Sorg). CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 139-149.
- Gaensslen, R.E., Harris, H.A. & Lee, H.C. (2007) Introduction to Forensic Science and Criminalistics. McGraw-Hill, Boston.
- Gennard, D. E. (2007) *Forensic entomology: An introduction*. Library of congress cataloging, England, pp. 254.
- Goff, M. L. (1993) Estimation of postmortem interval using arthropod development and successional patterns. *Forensic Science Review* 5:81-94.
- Goff, M. L., W. A. Brown, K. A. Hewadikaram, and A. I. Omori. (1991) Effects of heroin in decomposing tissues on the development rate of *Boettcherisca peregrina* (Diptera: Sarcophagidae) and implications of this effect on estimations of postmortem intervals using arthropod development patterns. *Journal of Forensic Sciences* 36:537-42.
- Goff, M. L., & Lord, W. D. (1994) Entomotoxicology: A new area for forensic investigation. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology* 15:51-57.
- Goff, M. L., Miller, M. L., Paulson, J. D., Lord, W. D., Richards, E. & Omori, A. I. (1997) Effects of 3,4-methylenedioxymethamphetamine in decomposing tissues on the development of *Parasarcophage ruficornis* (Diptera: Sarcophagidae) and detection of the drug in postmortem blood, liver tissue, larvae and puparia. *Journal of Forensic Sciences* 42:276-80.
- Goff, M.L. (2009) Early post mortem changes and stages of decomposition in exposed cadavers. *Experimental & Applied Acarology*, 49: 21-36.
- Goff, M.L. (2010) Early postmortem changes and stages of decomposition. In *Current Concepts in Forensic Entomology*.(ed.by J. Amendt, C.P. Campobasso, M.L. Goff & M. Grassberger). Springer, London. pp. 1-24.
- Goff, M.L. & Lord, W.D. (2010) Entomotoxicology: Insects as Toxicological Indicators and the Impact of Drugs and Toxins on Insect Development. In *Forensic entomology: the utility of using arthropods in legal investigations* (ed. by J.H. Castner & J.L. Byrd) CRC Boca Second Edition, Raton, FL, pp. 427-436.
- Gomes, L. & Von Zuben, C.J. (2005) Postfeeding radial dispersal in larvae of *Chrysomya albiceps* (Diptera : Calliphoridae) : implications for forensic entomology. *Forensic Science International*, 155(1): 61-64.

- Gomes, L., Godoy, W. & Von Zuben, C.J. (2006) A review of postfeeding larval dispersal in blowflies : implications for forensic entomology. *Naturwissenschaften*, 93(5): 207-215.
- Gomes, L., Gomes, G. & Von Zuben, C.J. (2009) The influence of temperature on the behavior of burrowing in larvae of the Blowflies, *Chrysomya albiceps* and *Lucilia cuprina*, under controlled conditions. *Journal of Insect Science*, 9(14): 1-5.
- Gosselin M. & Braet Y. 2008. Découverte de *Chrysomya albiceps* Wiedermann 1819 (Diptera, Calliphoridae), nouvelle espèce pour l'entomofaune nécrophage en Belgique et mise en évidence de son expansion a travers l'Europe. *Bulletin de la Société Royale Belge*, 144 : 22-28.
- Grassberger, M., Friedrich, E. & Reiter, C. (2003) The blowfly *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera : Calliphoridae) as a new forensic indicator in Central Europe. *International Journal of Legal Medicin*, 117: 75-81.
- Grassberger, M. & Frank, C. (2004) Initial study of arthropod succession on pig carrion in a central European urban habitat, *Journal of Medical Entomology*, 41: 511-523.
- Greenberg, B. (1971) *Flies and disease*. 2 vols. Princeton, NJ: Princeton University Press, pp.856
- Greenberg B. (1991). Flies as forensic indicators. *Journal of Medical Entomology*, 28: 565-577.
- Greenberg, B. & Kunich J. C. (2002) *Entomology and the Law: Flies as Forensic Indicators*. Cambridge University Press: Cambridge, pp. 306.
- Gullan, P.J. & Cranston, P.S. (2010) *The Insects: An Outline of Entomology*, 5th ed. Wiley Blackwell, Chichester, UK .pp.596
- Gunn, A. (2006) *Essential Forensic Biology*, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, pp.294.
- Hahn, D.A., James, L.N., Milne, K.R. & Hatle, J.D. (2008) Life-history plasticity after attaining a dietary threshold for reproduction is associated with protein storage in flesh flies. *Functional Ecology*, 22: 1081–1090.
- Hall, R. D. & Townsend, L. H. (1977). The blow flies of Virginia (Diptera: Calliphoridae). In *Insects of Virginia* 11. Virginia Polytechnic Institute and State University Research Division Bulletin 123.
- Hall, R.D. & Doisy K.E. (1993) Length of time after death: effect on attraction and oviposition or larviposition of midsummer blow flies (Diptera: Calliphoridae) and flesh flies (Diptera: Sarcophagidae) of medicolegal importance in Missouri. *Ann Entomol Soc Am*, 86:589-593.

- Hammack, L. (1999) Stimulation of oogenesis by proteinaceous adult diets for screwworm, *Cochliomyia hominivorax* (Diptera: Calliphoridae). *Bulletin of Entomological Research*, 89: 433–440.
- Hanski, I. & Kuusela, S. (1977). An experiment on competition and diversity in the carrion fly community. *Annals of the Entomological Society of Finland*, 43: 108-115.
- Hayes, E.J., Wall, R. & Smith, K.E. (1999) Mortality rate, reproductive output, and trap response bias in populations of the blowfly *Lucilia sericata*. *Ecological Entomology*, 24: 300-307.
- Hogue, C. L. (1993) *Latin American insects and entomology*. Berkeley: University of California Press, pp.536.
- Hubercht, F., Bourgnigon, L., Braet, Y. & Vanoudre, S. (2014) Méthode de datation et étude de cas – Principe de datation Entomologique. In *Insectes, cadavre et scènes de crime: Principe et application de l'entomologie médico-légale* (ed. By D. Charabidzé & M. Gosselin). Deboeck, pp. 105-122.
- Introna, F.Jr., Campobasso, C. P. & Goff, M. L. (2001) Entomotoxicology. *Forensic Science International*, 120:42-47.
- Ireland, S. & Turner, B. (2006) The effects of larval crowding and food type on the size and development of blowfly, *Calliphora vomitoria*. *Forensic Science International*, 159:157- 181.
- Joy, J.E., Liette, N. L. & Harrah, H.L. (2006) Carrion fly (Diptera: Calliphoridae) larval colonization of sunlit and shaded pig carcasses. *Forensic Science International*, 164: 183-192.
- Kashyap, V. K. & Pillay, V. V. (1989) Efficacy of entomological method in estimation of postmortem interval: a comparative analysis. *Forensic Science International*, 40: 245-50.
- Korshunov, N.V., Shved, E.F., Novikov, P.I., Vlasov, A.U., Natcentov, E.O. & Chelyabinsk, M. (2003) Possibilities of estimation of the time interval necessary for the development of putrefactive manifestation in the corpse. *Forensic Science International*, 136: 223-224.
- Kreitlow, K.L.T. (2010) Insect succession in natural environment. In *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. (ed. by J.H. Byrd & J.L. Castner 2nd edn), CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 251-270.
- Lambiase, S. & Camerini, G. (2012) Spread and habitat selection of *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera Calliphoridae) in Northern Italy: forensic implications. *Journal of forensic sciences* 57: 799 801.

Références bibliographiques

- Leclercq, M. (1978). *Entomologie et médecine légale : Datation de la mort*. Masson, Paris, Collection de médecine légale et de toxicologie médicale. pp. 108.
- Leclercq, M. (1996) On the entomofauna of a wild boar carcass. *Bulletin et Annales de la société Royale Belge d'Entomologie*, 132: 417-422.
- Leclercq, M. & Verstraeten, C. (1992) Eboueurs entomologiques bénévoles dans les écosystèmes terrestres. *Notes Fauniques de Gembloux*, 25: 17-23.
- LeBlanc, H.N. & Logan, J.G. (2010) Exploiting insect olfaction in forensic entomology. In *Current concepts in forensic entomology* (ed. by J., Amendt, M.L., Goff, C.P. & Campobasso, M., Grassberger). Springer, Dordrecht, pp 205-221.
- Levot, G.W., Brown, K.R. & Shipp, E. (1979) Larval growth of some calliphorid and sarcophagid Diptera. *Bulletin of Entomological Research* 69: 469-475.
- Lima, E., Ferreira, C., Bernardes, A. & Godoy, W. (2009) Neighborhood interactions and larval dispersal behavior in Blowflies. *Journal of Insect Behavior*, 22(3) : 245-255.
- Marchenko, M.I. (2001) Medicolegal relevance of cadaver entomofauna for the determination of the time of death. *Forensic Science International*, 120: 89-109.
- Martin-Vega D. Gomez-Gomez A. & Baz A. (2011) "The coffin fly" *Conicera tibialis* (Diptera : Phoridae) breeding on buried human remains after a *post mortem* interval of 18 years. *Journal of Forensic Sciences* 56: 1654-1656.
- Matile L. (1995) *Les Dipteres d'Europe occidentale*. Vol. 2. Atlas d'entomologie Boubée, Paris, pp.439.
- Matuszewski, S., Bajerlein, D., Konwerski, S. & Szpila, K. (2008) An initial study of insect succession and carrion decomposition in various forest habitats of Centra Europe. *Forensic Science International*, 180:61-69.
- McGavin, G.C. (2001) *Essential Entomology. An order-by order introduction*. Oxford University Press, Oxford (GB), pp. 294.
- McGraw, H., Boston. Galloway, A. (1997) The Process of Decomposition: A Model from the Arizona-Sonoran Desert. In *Forensic Taphonomy: The Post mortem Fate of Human Remains* (ed. by W.D., Haglund, & MH. Sorg). CRC Press, Boca Raton, pp 139-149.
- Mezedjri, L. (2008) *Modélisation de l'impact de la pollution industriel hydrique dans le golfe de skikda (littoral Est-Algérien)*. Thèse doctorat es science de la Mer, Département des sciences de la Mer, Université Badji Mokhtar, Annaba, pp.147.
- Miller, M. L., Lord, W. D., Goff, M. L., Donnelly, D., McDonough, E. T. & Alexis, J. C. (1994) Isolation of amitriptyline and nortriptyline from fly puparia (Phoridae) and beetle exuviae (Dermestidae) associated with mummified human remains. *Journal of Forensic Sciences* 39:1305-1313.

Références bibliographiques

- Nolte, K. B., Pinder, R. D. & Lord, W. D. (1992) Insect larvae used to detect cocaine poisoning in a decomposed body. *Journal of Forensic Sciences* 37:1179-1185
- Norris, K.R. (1965) The bionomics of blowflies. *Annual Review of Entomology* 10: 47-68.
- Nuorteva, P. 1977. Sarcosaprophagous insects as forensic indicators. In *Forensic medicine, a study in trauma and environmental hazards*. (ed. by C. G. Tedeschi, W. G. Eckert, & L. G. Tedeschi). Vol. II. Physical trauma Philadelphia: Saunders, 1072-1095.
- Padila, M.H.P., Pimentel, A.C., Ribeiro, A.F. & Terra, W.R. (2009) Sequence and function of lysosomal and digestive cathepsin D-like proteinases of *Musca domestica* midgut. *Insect. Biochemistry and Molecular Biology*, 39, 782-791.
- Palm, R. (2000) *L'analyse de la variance multivariée et l'analyse canonique discriminante : principes et applications*. Notes stat. Inform. (Gembloux), pp. 40.
- Payne, J.A. (1965) A summer carrion study baby pig *Sus scrofa* Linneaus, *Ecology*, 46(5):592-602.
- Prinkkila, M.L. & Hanski, I. (1995) Complex competitive interactions in four species of *Lucilia* blowflies. *Ecological Entomology*, 20: 261-272.
- Putman, R. J. (1977) Dynamics of the blowfly, *Calliphora erythrocephala*, within carrion. *J. Animal Ecology* 46: 853-866.
- Ramade F. (1984) *Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale*. ed. Mc Graw-Hill. Paris, pp 397.
- Richards, C.S., Rowlinson, C.C. & Hall, M.J.R. (2013) Effects of storage temperature on the change in size of *Calliphora vicina* larvae during preservation in 80% ethanol. *International Journal of Legal Medicine*, 127(1): 231-241.
- Rivers, D.B., Ciarlo, T., Spelman, M. & Brogan, R. (2010) Changes in development and heat shock response in two species of flies (*Sarcophaga bullata* [Diptera: Sarcophagidae] and *Protophormia terraenovae* [Diptera: Calliphoridae]) reared in different sized maggot masses. *Journal of Medical Entomology*, 47: 677-689.
- Rivers, D.B., Thompson, C. & Brogan, R. (2011) Physiological trade-offs of forming maggot masses by necrophagous flies on vertebrate carrion. *Bulletin of Entomological Research*, 101: 599-611.
- Rivets, D.B & Dahlem, G.A. (2014) *The Science of forensic entomology*. John Wiley & Sons, Ltd, pp.382.
- Rodriguez W.C., Bass, W.M. 1985. Decomposition of buried bodies and methods that may aid in their location. *Journal of Forensic Science* 30: 836-852

Références bibliographiques

- Roux, O., Gers, C., Telmon, N. & Legal, L. (2006) Circular dispersal of larvae in the necrophagous Diptera *Protophormia terraenovae* (Diptera Calliphoridae). *Annales de la Société Entomologique de France*, 42(1) : 52-6.
- Sadler, D. W., Roberson, L., Brown, Fuke, G. & Pounder, D. J. (1997) Barbituates and analgesics in *Calliphora vicina* larvae. *Journal of Forensic Sciences*, 42:481-485.
- Sandeman, R.M., Feehan, J.P., Chandler, R.A. & Bowles, V.M. (1990) Tryptic and chymotryptic proteases released by larvae of the blowfly, *Lucilia cuprina*. *International Journal of Parasitology*, 20: 1019-1023
- Shewell, G.E. (1987) Sarcophagidae. In *Manual of Nearctic Diptera*. (ed. by J.F., McAlpine) Vol. 2, Agriculture Canada, Ottawa. pp. 1159-1186.
- Saunders, D.S. (1987) Maternal influence on the incidence and duration of larval diapause in *Calliphora vicina*. *Physiological Entomology*, 12 : 331-338.
- Sharanowski, B.J., Walker, E.G. & Anderson, G.S. (2008) Insect succession and decomposition patterns on shaded and sunlit carrion in Saskatchewan in three different seasons. *Forensic Science International*, 179: 219-240.
- Shewell, G. E. 1987. Calliphoridae. In *Manual of Nearctic Diptera*. (ed. by J. F. McAlpine, et al.) Vol. 2, monograph 28. Ottawa, Canada: Research Branch, Agriculture Canada.
- Smith, K. G. V. (1986) *A manual of forensic entomology*. Ithaca, NY: Cornell University.
- Smith, K. E. & Wall, R. (1997) Asymmetric competition between larvae of the blowflies *Calliphora vicina* and *Lucilia sericata* in carrion. *Ecological Entomology* 22: 468-474.
- Szpila, K., Hall, M.J.R., Pape, T. & Grzywacz, A. (2013a) Morphology and identification of first instars of the European and Mediterranean blowflies of forensic importance. Part II: Luciliinae. *Medical and Veterinary Entomology*, 27: 349-66.
- Szpila, K., Hall, M.J.R., Sukontason, K. & Tantawi, T. (2013b) Morphology and identification of first instars of the European and Mediterranean blowflies of forensic importance. Part I: Chrysomyinae. *Medical and Veterinary Entomology*, 27: 181-193.
- Szpila, K., Pape, T. & Rusinek, A. (2008) Morphology of the first instar of *Calliphora vicina*, *Phormia regina* and *Lucilia illustris* (Diptera, Calliphoridae). *Medical and Veterinary Entomology*, 22: 16-25.
- Szpila, K. and M.H. Villet. 2011. Morphology and identification of first instar larvae of African blowflies (Diptera: Calliphoridae) commonly of forensic importance. *Medical and Veterinary Entomology* 48: 738-752.
- Tabor, K.L., Brewster, C.C. & Fell, R.D. (2004) Analysis of the successional patterns of insects on carrion in Southwest Virginia. *Journal of Medical Entomology*, 41:785-795.

- Tomberlin, J.K., Mohr, R., Benbow, M.E., Tarone, A.M. & VanLaerhoven, S. (2011). A roadmap for bridging basic and applied research in forensic entomology. *Annual Review of Entomology*, 56: 401-421
- Tracqui, A., C. Keyser-Tracqui, P. Kintz, and B. Ludes. 2004. Entomotoxicology for the forensic toxicologist: Much ado about nothing? *International Journal of Legal Medicine* 118:194-96.
- Tullis, K. & Goff, M.L. (1987) Arthropod succession in exposed carrion in a tropical rainforest on O'ahu Island, Hawai'i. *Journal of Medical Entomology*, 24:332-339.
- Vass, A.A., Smith, R.R., Thompson, C.V., Burnett, M.N., Wolf, D.A., Synsteliën, J.A., Dulgerian, N. & Eckenrode, B.A. (2004) Decompositional Odor Analysis Database. *Journal of Forensic Sciences*, 49: 760-769.
- Vickers, N.J. (2000) Mechanisms of animal navigation in odor plumes. *Biological Bulletin*, 198: 203-212.
- Villet, M.H., Richards, C.S. & Midgley, J.M. (2010) Contemporary precision, bias and accuracy of minimum post-mortem intervals estimated using development of carrion-feeding insects. In *Current Concepts in Forensic Entomology* (ed.by J. Amendt, C.P. Campobasso M.L. Goff & M. Grassberger). Springer, London, pp. 109-137.
- Voss, S., Spafford, H. & Dadour, I. (2009) Annual and seasonal patterns of insect succession on decomposing remains at two locations in Western Australia. *Forensic Science International*, 193:26-36.
- Wang, J., Li, Z., Chen, Y., Chen, Q. & Yin, X. (2008) The succession and development of insects on pig carcasses and their significances in estimating PMI in south China. *Forensic Science International*, 179: 11-18.
- Warren, J. A. & Anderson, G. S. (2008) A comparison of development times for *Protophormia terraenovae* (R-D) reared on different food substrates, 7th meeting of the European Association for Forensic Entomology, Kolymbari (Greece).
- Wessels, F.J., Jordan, D.C. & Hahn, D.A. (2010) Allocation from capital and income sources to reproduction shift from first to second clutch in the flesh fly, *Sarcophaga crassipalpis*. *Journal of Insect Physiology* 56: 1269-1274.
- Woodcock, B. A., Watt, A. D. & Leather, S. R. (2002) Aggregation, habitat quality and coexistence: a case study on carrion fly communities in slug cadavers. *Journal of Animal Ecology*, 71: 131-140.
- Wyss, C., Cherix, D., Michaud, K. & Romain, N. (2003) Pontes de *Calliphora vicina*, Robineau-Desvoidy et de *Calliphora vomitoria*, (Linne) (Dipteres, Calliphoridae) sur un cadavre humain enseveli dans la neige. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*, 56 : 112-116.

Références bibliographiques

- Wyss, C. & Cherix, D. (2006) *Traité de l'entomologie forensique: Les insectes sur la scène de crime*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, pp.317.
- Wyss, C. & Cherix D. (2013) *Traite d'entomologie forensique : Les insectes sur la scène de crime*. 2^{ème} édition revue et augmentée. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne (Suisse).
- Wyss, C. & Cherix, D. (2014) les diptères nécrophages. *In Insectes, cadavre et scènes de crime: Principe et application de l'entomologie médico-légale* (ed. By D. Charabidzé & M. Gosselin). Deboeck, pp. 59-78.
- Wall, R., Wearmouth, V.J. & Smith, K.E. (2002) Reproduction allocation by the blow fly *Lucilia sericata* in response to protein limitation. *Physiological Entomology*, 27: 267-274.
- Zdarek, J. & Slama, K. (1972) Supernumerary larval instars in cyclorrhaphous Diptera. *Biological Bulletin*, 142: 350-357.

Annexe 1.

Tab. 1 : relevé des Températures du corps et du milieu dans les différentes expériences.

jour	Rab 1		Dog2		Rab2	
	T° corps(°C)	T° milieu(°C)	T° corps (°C)	T° milieu (°C)	T° corps(°C)	T° moy (°C)
1ier	35,2	16,5	32,4	17,6	34,8	24,5
2ème	17,3	16,7	23,2	17,8	13,2	19,9
3ème	16,8	16,2	15,3	15,6	12,9	15,7
4ème	16,7	15,7	17,2	16,5	10,1	16,4
5ème	16,9	16,8	17,5	18,4	9,5	17,1
6ème	16,7	16,6	19,8	22,2	10,4	18,2
7ème	14,8	17,0	21,3	22	9,3	19,1
8ème	16,1	17,0	25,3	28	13,2	21,1
9ème	18,1	18,8	26,5	30	12,8	22,7
10ème	19,5	17,9	21,9	17,2	13,5	19,9
11ème	25,2	19,5	23,4	18,7	15,6	21,4
12ème	28,4	22,7	24,3	15,7	18,1	23,5
13ème	24,1	20,5	26,2	16,3	17,2	23,3
14ème	27,2	20,8	27,1	16,4	18,9	24,0
15ème	28	18,0	28,9	15,5	15,1	23,4
16ème	30,5	20,2	28,6	18,8	16	24,4
17ème	31,3	21,5	27,6	18,4	16,8	24,5
18ème	34,8	21,3	29,1	19	17,3	25,2
19ème	21,9	22,1	31,6	21,2	17,5	26,8
20ème	24,6	20,7	35,3	23,6	19,8	28,0
21er	24,5	20,7	34,2	27,1	20,5	27,4
22ème	24,3	19,8	33,4	21,2	21,7	26,6
23ème	28,1	21,2	33,8	19,3	20,5	27,5
24ème	29	21,9	31,1	18,7	17,2	26,5
25ème	20,2	21,4	30,5	19,3	15,1	25,9
26ème	25,2	21,9	28,3	18,8	13	25,1
27ème	28,5	23,2	30,5	22,2	12,5	26,8
28ème	28,4	21,7	29,2	22,8	12,3	25,5
29ème	27,3	23,7	27,1	25	11	25,4
30ème	24,3	21,6	23,5	21,2	10,7	22,6
31er	24,1	26,6	20,1	19	12	23,3
32ème	21,5	22,2	19,1	22,2	11,3	20,7
33ème	24,4	21,9	23,4	22,4	13,2	22,6
34ème	24	22,5	22,2	22,7	12,9	22,3
35ème	23,5	22,1	21,8	22,2	12	21,9
36ème	23,7	20,7	20,9	20,2	11,6	20,8
37ème	22	21,8	19,4	20,8	12,2	20,6

Annexes

38ème	19,2	18,7	19,5	19,8	13,6	19,1
39ème	19,4	19,0	20,6	21,3	13,1	19,8
40ème	19,4	18,9	18,3	19,2	12,4	18,6
41ème	21,2	20,3	19,2	18	/	/
42ème	/	/	17,5	18	/	/
43ème	/	/	23	21,3	/	/
44ème	/	/	22,1	21,2	/	/
45ème	/	/	21,1	20,4	/	/
46ème	/	/	22,3	24,3	/	/
47ème	/	/	24,5	23	/	/

Annexe 2.

Tab.2 : Nombre de capture des Diptères nécrophages dans les différents stades de décompositions : expérience « Dog1 ».

Expérimentations	Famille	Espèces	Frais(3jours)			Gonflement (4-8jours)			Décomposition (9jours-35jours)			squeletisation (plus35 jours)		
			L	P	A	L	P	A	L	P	A	L	P	A
Dog 1	Calliphoridae	<i>Lucilia sericata</i>	0		5	134		41	203		17	9		9
		<i>Lucilia illustris</i>	0		8	78		22	183		12	0		6
		<i>Calliphora vicina</i>	0	0	1	59	0	18	74	13	9	5	30	3
		<i>Calliphora vomitoria</i>	0		0	27		18	77		10	2		5
		<i>phormia regina</i>	0		0	0		15	0		3	0		0
	Muscidae	<i>Musca domestica</i>	0		0	0		15	0		9	0		0
		<i>Musca sp</i>	0		0	38	0	0	94	0	0	0	27	0
		<i>Muscina stabulans</i>	0		0	21		3	44		7	0		2
		<i>Muscina sp</i>	0		0	19		0	37		0	0		0
	Piophilidae	<i>Piophila casei</i>	0		0	0	0	0	0	0	26	0	0	12
		<i>Piophila sp</i>	0		0	0	0	0	0	0	19	0	0	6
	Sarcophagidae	<i>Sarcophaga sp</i>	0	0	0	0	0	8	0	0	36	0	0	4
	Total stades développement / st de décomposition			0	0	14	376	0	140	712	13	148	16	57
Total de capture/ st de décomposition			14			516			873			120		

Tab.3 : Nombre de capture des Diptères nécrophages dans les différents stades de décompositions : expérience « Dog2 ».

Expérimentation	Famille	Espèces	Frais (3jours)			Gonflement (4-8jours)			Décomposition (9jours-27jours)			squeletisation (plus 27)		
			L	P	A	L	P	A	L	P	A	L	P	A
Dog 2	Calliphoridae	<i>Calliphora vicina</i>	13		19	367		28	1588		43	0		13
		<i>Calliphora vomitoria</i>	0		4	64		9	338		17	0		0
		<i>Lucilia sericata</i>	0	0	7	37	0	8	141	46	7	0	12	0
		<i>Lucilia illustris</i>	0		2	21		4	123		8	0		1
		<i>phormia regina</i>	0		0	0		2	37		5	0		0
	Sarcophagidae	<i>Sarcophaga africa</i>	0	0	5	0	0	7	0	0	0	0	0	2
		<i>Sarcophaga sp</i>	0		9	0		12	0		0	0	0	0
	Muscidae	<i>Musca domestica</i>	0		0	0		0	0		35	0		0
		<i>Musca sp</i>	0	0	0	0	0	21	0	4	0	0	0	0
		<i>Muscina sp</i>	0		0	0		9	11		18	0		0
	Fanniidae	<i>Fannia sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0
	Total stades développement / st de décomposition			13	0	46	489	0	100	2238	50	162	0	12
Total de capture/ st de décomposition			59			589			2450			21		

Tab.4 : Nombre de capture des Diptères nécrophages dans les différents stades de décompositions : expérience « Rab1 ».

Experimrntation	Famille	Espèces	Frais(4jours)			Gonflement (5-8jours)			Décomposition (9jours-24jours)			squeletisation (plus25 jours)		
			L	P	A	L	P	A	L	P	A	L	P	A
Rabbit 1	Calliphoridae	<i>Calliphora vicina</i>	0	0	3	45	0	22	192	31	33	34	8	20
		<i>Lucilia sericata</i>	0	0	1	19	0	14	51		29	11		7
		<i>Phormia regina</i>	0	0	0	9	0	8	21		10	1		2
		<i>Chrysomia albiseps</i>	0	0	0	0	0	5	28		20	5		0
	Muscidae	<i>Musca domestica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	7
		<i>Hydrotaea capensis</i>	0	0	0	0	0	0	12	0	4	0	0	0
	Piophilidae	<i>Piophila casei</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0
	Fanniidae	<i>Fannia canicularis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0
Total stades développement / st de décomposition			0	0	4	73	0	49	304	31	128	56	8	36
Total de capture/ st de décomposition			4			122			463			100		

Annexes

Tab. 5 : Nombre de capture des Diptères nécrophages dans les différents stades de décompositions : expérience « Rab2 ».

Expérimentation	Famille	Espèces	Frais(6jours)			Gonflement (6-9jours)			Décomposition (10jours-28jours)			squeletisation (plus28 jours)		
			L	P	A	L	P	A	L	P	A	L	P	A
Rab 2	Calliphoridae	<i>Calliphora vicina</i>	0		3	34		3	67		22	8		5
		<i>Calliphora vomitoria</i>	0		0	9		1	49		18	3		2
		<i>Lucilia sericata</i>	0	0	2	7	0	0	39	49	9	10	7	2
		<i>Lucilia illustris</i>	0		1	0		1	22		3	0		0
		<i>Phormia regina</i>	0		0	0		2	7		3	0		0
	Sarcophagidae	<i>Sarcophaga africa</i>	0		0	0		0	0		15	0		3
		<i>sarcophaga carnaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Muscidae	<i>Musca domestica</i>	0		0	0		0	0		24	0		15
		<i>Hydrotaea capensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	10		0	8
	Fanniidae	<i>Fannia sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1			12
Piophilidae	<i>Piophila casei</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	5			3	

Annexes 3.





Fig. 1 : Différentes phase de décomposition « Dog1 »





Fig. 2 : Différentes phase de décomposition « Dog2 »





Fig. 3 : Différentes phase de décomposition « Rab2 »

Annexes 4.

Tab.6 : Analyse hiérarchique des observations : entre expériences

Distance euclidienne, Liaison simple
Etapas de fusion

Etape	Nombre de groupes	Niveau de similarité	Niveau de distance	Groupes liés	Nouveau groupe	Nombre d'obs. dans le nouveau groupe
1	3	83,5875	17,0136	2 4	2	2
2	2	82,6151	18,0217	1 2	1	3
3	1	30,6761	71,8631	1 3	1	4

Subdivision finale
Nombre de groupes : 1

Groupes	Nombre d'observations	Dans la somme des carrées de groupe	Distance moyenne du centré	Distance maximale du centré
Groupes1	4	6313,48	33,6850	65,4887

Tab.7 : Analyse hiérarchique des observations : entre familles dans les expériences

Distance euclidienne, Liaison simple
Etapas de fusion

Etape	Nombre de groupes	Niveau de similarité	Niveau de distance	Groupes liés	Nouveau groupe	Nombre d'obs. dans le nouveau groupe
1	16	100,000	0,0000	7 17	7	2
2	15	100,000	0,0000	12 16	12	2
3	14	100,000	0,0000	11 15	11	2
4	13	100,000	0,0000	10 14	10	2
5	12	100,000	0,0000	9 13	9	2
6	11	100,000	0,0000	8 12	8	3
7	10	100,000	0,0000	6 11	6	3
8	9	100,000	0,0000	4 10	4	3
9	8	100,000	0,0000	5 9	5	3
10	7	100,000	0,0000	3 7	3	3
11	6	100,000	0,0000	2 6	2	4
12	5	100,000	0,0000	1 5	1	4
13	4	98,873	1,1785	3 8	3	6
14	3	97,528	2,5854	3 4	3	9
15	2	88,384	12,1487	2 3	2	13
16	1	12,208	91,8182	1 2	1	17

Caractérisation des insectes nécrophages, leur utilité en médecine légale et dans les enquêtes judiciaires

Résumé :

L'entomologie médico-légale est la science qui applique les connaissances des insectes (et d'autres arthropodes) aux procédures civiles et pénales. C'est dans ce contexte que nous avons jugé intéressant d'apporter de nouvelles informations concernant la faune de Diptères liés à la décomposition cadavérique en Algérie, jusque là méconnue. Notre objectif est d'obtenir des données qui pourraient être utilisés pour les services concernés en l'occurrence la police scientifique.

Au cours de notre période d'étude nous avons mené une série d'expérimentations sur des cadavres d'animaux (chiens et lapins), l'inventaire faunistique des espèces de Diptères nécrophages récoltés aboutit au recensement de 18 espèces appartenant à 5 familles. La famille des Calliphoridae est de loin la mieux représentée particulièrement avec les espèces *Calliphora vicina*, *Lucilia sericata*, *Lucilia illustris* et *Calliphora vomitoria*. Ces espèces offrent des outils qui contribuent à la définition du temps écoulé depuis la mort ou l'intervalle *post mortem* (IPM), qui est extrêmement précieux dans les enquêtes criminelles.

Afin d'examiner la relation qui existe entre la structure la faune des Diptères nécrophages et les différentes étapes de la décomposition cadavérique, des indices écologiques de structures et de compositions ainsi qu'une étude statistique composée d'une analyse de la variance et d'une analyse hiérarchique ont été utilisés.

Mots clés : entomologie médico-légale, Diptères nécrophages, décomposition cadavérique, IPM, enquêtes criminelles.

Characterization of necrophagous insects, their usefulness in forensic medicine and in the judicial investigations.

Summary:

The Forensic entomology is the science that applies the knowledge of insects (and other arthropods) for civil and criminal proceedings. In this context, we thought interesting to bring new information about the fauna of Diptera associated with cadaverous decomposition in Algeria, at this moment unknown. Our goal is to obtain data that could be used for the forensics services involved in this case such as scientific police.

During our period of study we conducted a series of experiments on the dead animals (dogs and rabbits), the faunistic inventory of species of necrophagous Diptera harvested leads to the census of 18 species belonging to 5 families. The family of Calliphoridae is by far the better represented particularly with the Species; *Calliphora vicina*, *Lucilia sericata*, *Lucilia illustris* and *Calliphora vomitoria*. These species provide tools that contribute to the definition of the time elapsed since the death or the post-mortem interval (PMI), which is extremely valuable in criminal investigations.

To examine the relationship between the faunal structure of the necrophagous Diptera and the various stages of cadaverous decomposition, ecological indicators of structures and compositions and a statistical study consisted of an analysis of variance and hierarchical analysis were used

Key words: Forensic entomology, necrophagous Diptera, cadaveric decomposition, PMI, criminal investigations

توصيف الحشرات الرمّية، فائدتها في الطب الشرعي والتحقيقات القضائية

ملخص

يُقصد بعلم الحشرات الجنائي (الشرعي) ذلك العلم الذي يطبق المعلومات المتعلقة بالحشرات وغيرها من مفصليات الأرجل في الدعاوي المدنية والجنائية وفي هذا السياق فإنه من المثير للاهتمام تقديم معلومات جديدة تخص الحشرات الرمية ذوات الجناحين والمرتبطة بتحليل الجثث في الجزائر، والتي تبقى غير معروفة حتى الآن.

وهكذا فإن هدفنا من هذه الدراسة يتمثل في الحصول على البيانات التي يمكن استخدامها من طرف المصالح المختصة في هذا المجال كالشرطة العلمية على سبيل المثال.

لقد قمنا في إطار دراستنا بإجراء سلسلة من التجارب على جثث حيوانات ميتة مثل الكلاب والأرانب حيث نجحنا في تعداد 18 نوعا من الحشرات الرمية ذوات الجناحين وهي تنتمي إلى 5 عائلات، عائلة (Calliphoridae) وهي إلى حد بعيد أفضل ممثل وخاصة الأنواع الآتية: *Lucilia*، *Calliphora vicina*، *Calliphora vomitoria*، *Lucilia illustris*، *sericata*.

وهذه الأنواع من الحشرات الرمية ذوات الجناحين تسهم بشكل رئيسي في التعرف على المدة الزمنية التي تفصل بين زمن الوفاة من جهة وزمن العثور على الجثة من جهة أخرى (IPM)، وهي المدة التي تعد على قدر كبير من الأهمية في التحقيقات الجنائية.

وتجدر بنا الإشارة في الأخير إلى أنه بغرض دراسة العلاقة بين تركيبة هذا النوع من الحشرات والمراحل المختلفة لتحليل الجثث قد لجأنا إلى استخدام مجموعة من المؤشرات البيئية البنيوية والتركيبية والدراسات الإحصائية.

كلمات المفتاحية: علم الحشرات الجنائي، ذوات الجناحين الرمية، التحلل جيفي، IPM، التحقيقات الجنائية

Nom : BOULKENAFET

Prénom : Fouzi

Thème : Caractérisation des insectes nécrophages, leur utilité en médecine légale et dans les enquêtes judiciaires

Nature du diplôme : Doctorat en science en Entomologie. option : Application agronomique et médicale

Résumé :

L'entomologie médico-légale est la science qui applique les connaissances des insectes (et d'autres arthropodes) aux procédures civiles et pénales. C'est dans ce contexte que nous avons jugé intéressant d'apporter de nouvelles informations concernant la faune de Diptères liés à la décomposition cadavérique en Algérie, jusque-là méconnue. Notre objectif est d'obtenir des données qui pourraient être utilisées pour les services concernés en l'occurrence la police scientifique.

Au cours de notre période d'étude nous avons mené une série d'expérimentations sur des cadavres d'animaux (chiens et lapins), l'inventaire faunistique des espèces de Diptères nécrophages récoltés aboutit au recensement de 18 espèces appartenant à 5 familles. La famille des Calliphoridae est de loin la mieux représentée particulièrement avec les espèces *Calliphora vicina*, *Lucilia sericata*, *Lucilia illustris* et *Calliphora vomitoria*. Ces espèces offrent des outils qui contribuent à la définition du temps écoulé depuis la mort ou l'intervalle *post mortem* (IPM), qui est extrêmement précieux dans les enquêtes criminelles.

Afin d'examiner la relation qui existe entre la structure la faune des Diptères nécrophages et les différentes étapes de la décomposition cadavérique, des indices écologiques de structures et de compositions ainsi qu'une étude statistique composée d'une analyse de la variance et d'une analyse hiérarchique ont été utilisés.

Mots clés : entomologie médico-légale, Diptères nécrophages, décomposition cadavérique, IPM, enquêtes criminelles.

, Université Frères des Mentouri Constantine. Facultés des Sciences de la nature et de la vie.
Département de Biologie Animale

Promoteur : Pr. BERCHI Sélima