

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTE DES SCIENCES
FACULTY OF SCIENCE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES

DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY

LABORATOIRE DE ZOOLOGIE

LABORATORY OF ZOOLOGY

Etude de l'arthropodofaune nécrophage des cadavres emballés de porcs domestiques à Malombo dans la Région du Centre-Cameroun: applicabilité dans la datation des dépouilles

Thèse présentée et soutenue dans le but de l'obtention du diplôme de
Doctorat/Ph.D en Biologie des Organismes Animaux

Option : Zoologie

Par :

YEBGA Luc Blaise Cherubain

Matricule : 06Q838

Master ès-Sciences

Sous la codirection de

Mme MONY Ruth épouse NTONE

et

M. BILONG BILONG Charles Felix

Maître de Conférences

Professeur

Année 2021



DEDICACE

Je dédie ce travail

- à mes parents NGO YEBGA Louise et YANGA Michel pour qu'il soit pour eux un motif de satisfaction pour tous les efforts et les sacrifices consentis pour mon éducation.

REMERCIEMENTS

Je rends grâce au Seigneur Dieu Tout-Puissant de m’ avoir protégé de la maladie, de m’ avoir accordé l’ intelligence et la sagesse pour rédiger ce document malgré les difficultés rencontrées.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à l’ élaboration de cette thèse. J’ adresse particulièrement ma gratitude et mon respect:

- au Pr MONY Ruth épouse NTOU qui a bien voulu me guider et encadrer mes premiers pas dans le domaine de la recherche scientifique. Merci pour sa patience, sa délicatesse, son soutien et pour toutes les corrections apportées à ce document;
- au Pr BILONG BILONG Charles Félix qui a accepté de superviser mes travaux de recherche et pour ses innombrables conseils dans la rédaction de ce document;
- au Pr KEKEUNOU Sévilor pour son soutien, son esprit critique et sa disponibilité;
- au Dr Koffi Alexandre Frankling de Côte d’ Ivoire qui m’ a apporté le soutien nécessaire lors de l’ identification des arthropodes collectés;
- aux enseignants du Département de Biologie et Physiologie Animales pour les enseignements prodigués tout au long de ma formation universitaire;
- à la Fondation MOHAMED BIN ZAYED qui a financé une partie de ce travail;
- à M. TSAFOUET VII WOUKING André Vanel pour son soutien et sa participation aux travaux sur le terrain;
- à M. EBANGUE TITTI Giovanni pour sa participation à l’ identification de la myrmécofaune et pour toutes les remarques apportées;
- à M. MAKON Samuel Didier pour sa participation à l’ identification des myriapodes;
- à Mmes YEBGA Dalida Stevia, NKEUMOU Camille Claire et à M. YEBGA Christian Michel pour leur soutien moral et financier;
- à Mme NGO YEBGA Louissette Ange Faiza et M. HEMLE CAMERON YEBGA pour leur amour et leur confiance;
- aux familles YEBGA à MALOMBO par MINKA, YANGA et TOWADA à POUMA, MBOM à BOUMKOCK et LIBOT à KOUKOUM pour leur soutien;
- aux habitants du village MALOMBO;
- à tous mes camarades de la promotion "mosaïque" pour leur soutien et à tous ceux dont les noms ne figurent pas ici et qui ont contribué d’ une manière ou d’ une autre à la réalisation de ce travail.

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I Faculté des Sciences Division de la Programmation et du Suivi des Activités Académiques		THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I Faculty of Science Division of Programming and Follow-up of Academic Affairs
LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS		LIST OF PERMANENT TEACHING STAFF

ANNÉE ACADEMIQUE 2021/2022

(Par Département et par Grade)

DATE D'ACTUALISATION 22 septembre 2021

ADMINISTRATION

DOYEN : TCHOUANKEU Jean- Claude, *Maître de Conférences*

VICE-DOYEN / DPSAA : ATCHADE Alex de Théodore, *Maître de Conférences*

VICE-DOYEN / DSSE : NYEGUE Maximilienne Ascension, *Professeur*

VICE-DOYEN / DRC : ABOSSOLO Monique, *Maître de Conférences*

Chef Division Administrative et Financière : NDOYE FOE Florentine Marie Chantal,
Maître de Conférences

Chef Division des Affaires Académiques, de la Scolarité et de la Recherche DAASR :
AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, *Professeur*

1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (37)

N°	NOMS ET PRÉNOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1	BIGOGA DAIGA Jude	Professeur	En poste
2	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
3	FOKOU Elie	Professeur	En poste
4	KANSCI Germain	Professeur	En poste
5	MBACHAM FON Wilfried	Professeur	En poste

6	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	Chef de Département
7	NINTCHOM PENLAP V. épouse BENG	Professeur	En poste
8	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste

9	ACHU Merci BIH	Maître de Conférences	En poste
10	ATOGHO Barbara Mma	Maître de Conférences	En poste
11	AZANTSA KINGUE GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
12	BELINGA née NDOYE FOE F. M. C.	Maître de Conférences	Chef DAF / FS
13	BOUDJEKO Thaddée	Maître de Conférences	En poste
14	DJUIDJE NGOUNOUE Marceline	Maître de Conférences	En poste
15	EFFA ONOMO Pierre	Maître de Conférences	En poste
16	EWANE Cécile Annie	Maître de Conférences	En poste
17	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	Inspecteur de Service MINESUP
18	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
19	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
20	NGUEFACK Julienne	Maître de Conférences	En poste
21	NJAYOU Frédéric Nico	Maître de Conférences	En poste
22	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste

23	AKINDEH MBUH NJI	Chargé de Cours	En poste
----	------------------	-----------------	----------

24	BEBEE Fadimatou	Chargée de Cours	En poste
25	BEBOY EDJENGUELE Sara Nathalie	Chargé de Cours	En poste
25	DAKOLE DABOY Charles	Chargé de Cours	En poste
26	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Chargée de Cours	En poste
27	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Chargé de Cours	En poste
28	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
29	KOTUE TAPTUE Charles	Chargé de Cours	En poste
30	LUNGA Paul KEILAH	Chargé de Cours	En poste
31	MANANGA Marlyse Joséphine	Chargée de Cours	En poste
32	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Chargée de Cours	En poste
33	Palmer MASUMBE NETONGO	Chargé de Cours	En poste
34	PECHANGOU NSANGOU Sylvain	Chargé de Cours	En poste

33	FOUPOUAPOUOGNIGNI Yacouba	Assistant	En poste
34	KOUOH ELOMBO Ferdinand	Assistant	En poste
35	MBOUCHE FANMOE Marceline Joëlle	Assistante	En poste
36	OWONA AYISSI Vincent Brice	Assistant	En poste
37	WILFRIED ANGIE Abia	Assistante	En poste

2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (51)

1	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	DAARS/FS
2	BILONG BILONG Charles-Félix	Professeur	Chef de Département
3	DIMO Théophile	Professeur	En Poste
4	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En Poste

5	DZEUFJET DJOMENI Paul Désiré	Professeur	En Poste
6	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	<i>Vice Doyen/FMSB/UIYI</i>
7	FOMENA Abraham	Professeur	En Poste
8	KAMTCHOUING Pierre	Professeur	En poste
9	KEKEUNOU Sévilor	Professeur	En poste
10	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
11	NJIOKOU Flobert	Professeur	En Poste
12	NOLA Moïse	Professeur	En poste
13	TAN Paul VERNYUY	Professeur	En poste
14	TCHUEM TCHUENTE Louis Albert	Professeur	<i>Inspecteur de service Coord.Progr./MINSANTE</i>
15	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	<i>En poste</i>

16	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
17	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste
18	JATSA BOUKENG Hermine épouse MEGAPTCHÉ	Maître de Conférences	En Poste
19	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Maître de Conférences	En poste
20	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
21	MONY Ruth épouse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
22	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
23	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste

24	ALENE Désirée Chantal	Chargée de Cours	En poste
25	ATSAMO Albert Donatien	Chargé de Cours	En poste
26	BELLET EDIMO Oscar Roger	Chargé de Cours	En poste
27	DONFACK Mireille	Chargée de Cours	En poste
28	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
29	GOUNOUE KAMKUMO Raceline	Chargée de Cours	En poste

30	KANDEDA KAVAYE Antoine	Chargé de Cours	En poste
31	MAHOB Raymond Joseph	Chargé de Cours	En poste
32	MBENOUN MASSE Paul Serge	Chargé de Cours	En poste
33	MOUNGANG Luciane Marlyse	Chargée de Cours	En poste
34	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Chargé de Cours	En poste
35	NGOUATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
36	NGUEMBOK	Chargé de Cours	En poste
37	NJUA Clarisse Yafi	Chargée de Cours	Chef Div. UBA
38	NOAH EWOTI Olive Vivien	Chargée de Cours	En poste
39	TADU Zephyrin	Chargé de Cours	En poste
40	TAMSA ARFAO Antoine	Chargé de Cours	En poste
41	YEDE	Chargé de Cours	En poste

42	AMPON NSANGO Indou	Assistant	En poste
43	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Assistant	En poste
44	ESSAMA MBIDA Désirée Sandrine	Assistante	En poste
45	FEUGANG YOUMSSI François	Assistant	En poste
46	FOKAM Alvine Christelle Epse KEGNE	Assistante	En poste
47	GONWOULO NONO Legrand	Assistant	En poste
48	KOGA MANG DOBARA	Assistant	En poste
49	LEME BANOCK Lucie	Assistante	En poste
50	NWANE Philippe Bienvenu	Assistant	En poste
51	YOUNOUSSA LAME	Assistant	En poste

3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (31)

1	AMBANG Zachée	Professeur	Chef Division/UYII
2	BELL Joseph Martin	Professeur	En poste
3	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste
4	MBOLO Marie	Professeur	En poste
5	MOSSEBO Dominique Claude	Professeur	En poste
6	YOUMBI Emmanuel	Professeur	Chef de Département
7	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste

8	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
9	BIYE Elvire Hortense	Maître de Conférences	En poste
10	MALA Armand William	Maître de Conférences	En poste
11	MBARGA BINDZI Marie Alain	Maître de Conférences	CT/ MINESUP
12	NDONGO BEKOLO	Maître de Conférences	<i>CE / MINRESI</i>
13	NGODO MELINGUI Jean Baptiste	Maître de Conférences	En poste
14	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	En poste
15	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste
16	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste

17	DJEUANI Astride Carole	Chargé de Cours	En poste
18	GOMANDJE Christelle	Chargée de Cours	En poste
19	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargé de Cours	En poste
20	MAHBOU SOMO TOUKAM. Gabriel	Chargé de Cours	En poste

21	NGALLE Hermine BILLE	Chargée de Cours	En poste
22	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargé de Cours	En poste
23	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargé de Cours	En poste
24	ONANA JEAN MICHEL	Chargé de Cours	En poste

25	GODSWILL NTSOMBOH NTSEFONG	Assistant	En poste
26	KABELONG BANAHOU Louis- Paul-Roger	Assistant	En poste
27	KONO Léon Dieudonné	Assistant	En poste
28	LIBALAH Moses BAKONCK	Assistant	En poste
29	LIKENG-LI-NGUE Benoit C	Assistant	En poste
30	TAEDOUNG Evariste Hermann	Assistant	En poste
31	TEMEGNE NONO Carine	Assistant	En poste

4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (32)

1	AGWARA ONDOH Moïse	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	DJOUFAC WOUMFO Emmanuel	Professeur	En poste
3	Florence UFI CHINJE épouse MELO	Professeur	<i>Recteur Univ.Ngaoundere</i>
4	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	<i>Ministre Chargé de Miss.PR</i>
5	NANSEU Njiki Charles Péguy	Professeur	En poste
6	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI</i>
7	NDIKONTAR Maurice KOR	Professeur	<i>Vice-Doyen Univ. Bamenda</i>
8	NENWA Justin	Professeur	En poste
9	NGAMENI Emmanuel	Professeur	<i>DOYEN FS UD</i>

10	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
----	--------------------	------------	---------------------------

11	ACAYANKA Elie	Maître de Conférences	En poste
12	EMADACK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
13	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
14	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
15	KONG SAKEO	Maître de Conférences	En poste
16	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	En poste
17	NJIOMOU C. épouse DJANGANG	Maître de Conférences	En poste
18	NJOYA Dayirou	Maître de Conférences	En poste
19	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Maître de Conférences	En poste

20	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Chargé de Cours	CS/ ENS Bertoua
21	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Chargé de Cours	En poste
22	KENNE DEDZO GUSTAVE	Chargé de Cours	En poste
23	KOUOTOU DAOUDA	Chargé de Cours	En poste
24	MAKON Thomas Beaugard	Chargé de Cours	En poste
25	MBEY Jean Aime	Chargé de Cours	En poste
26	NCHIMI NONO KATIA	Chargé de Cours	En poste
27	NEBAH Née NDOSIRI Bridget NDOYE	Chargée de Cours	CT/ MINPROFF
28	NYAMEN Linda Dyorisse	Chargée de Cours	En poste
29	PABOUDAM GBAMBIE A.	Chargée de Cours	En poste

30	NJANKWA NJABONG N. Eric	Assistant	En poste
31	PATOUOSSA ISSOFA	Assistant	En poste
32	SIEWE Jean Mermoz	Assistant	En Poste

5- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (40)

1	DONGO Etienne	Professeur	Vice-Doyen/FSE/UYI
2	GHOUMU TIH Robert Ralph	Professeur	Dir. IBAF/UDA
3	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	Chef de Département UDS
4	NYASSE Barthélemy	Professeur	En poste
5	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Directeur/ MINESUP/</i> Chef de Département
6	WANDJI Jean	Professeur	En poste

7	Alex de Théodore ATCHADE	Maître de Conférences	Vice-Doyen / DPSAA
8	AMBASSA Pantaléon	Maître de Conférences	En poste
9	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	En poste
10	FOLEFOC Gabriel NGOSONG	Maître de Conférences	En poste
11	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
12	KEUMEDJIO Félix	Maître de Conférences	En poste
13	KENMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste
14	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste
15	MBAZOA née DJAMA Céline	Maître de Conférences	En poste

16	MKOUNGA Pierre	Maître de Conférences	En poste
17	MVOT AKAK CARINE	Maître de Conférences	En poste
18	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	Sous/Direct. MINERESI
19	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	C.E/ MINESUP
20	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	C.S/ MINESUP
21	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
22	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
23	TAGATSING FOTSING Maurice	Maître de Conférences	En poste
24	TCHOUANKEU Jean-Claude	Maître de Conférences	<i>Doyen /FS/ UYI</i>
25	TIH née NGO BILONG E. Anastasie	Maître de Conférences	En poste
26	YANKEP Emmanuel	Maître de Conférences	En poste
27	ZONDEGOUMBA Ernestine	Maître de Conférences	En poste

28	KAMTO Eutrophe Le Doux	Chargé de Cours	En poste
29	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
30	NGOMO Orléans	Chargée de Cours	En poste
31	OUAHOUE WACHE Blandine M.	Chargée de Cours	En poste
32	SIELINOUE TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste

33	MESSI Angélique Nicolas	Assistant	En poste
34	MUNVERA MFIFEN Aristide	Assistant	En poste

35	NONO NONO Éric Carly	Assistant	En poste
36	OUETE NANTCHOUANG Judith Laure	Assistante	En poste
37	TCHAMGOUE Joseph	Assistant	En poste
38	TSAFFACK Maurice	Assistant	En poste
39	TSAMO TONTSA Armelle	Assistante	En poste
40	TSEMEUGNE Joseph	Assistant	En poste

6- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (25)

1	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef Div.MINESUP</i>
2	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<i>Chef Dpt ENS/Chef IGA.MINESUP</i>

3	NDOUNDAM René	Maître de Conférences	En poste
---	---------------	--------------------------	----------

4	ABESSOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	En poste
5	AMINOUE Halidou	Chargé de Cours	<i>Chef de Département</i>
6	DJAM Xaviera YOUH - KIMBI	Chargé de Cours	En Poste
7	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Chargé de Cours	En poste
8	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
9	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
10	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
11	MONTHE DJIADEU Valery M.	Chargé de Cours	En poste
12	MOTO MPONG Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
13	OLLE OLLE Daniel Claude Delort	Chargé de Cours	Directeur adjoint Enset. Ebolowa
14	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste

15	TINDO Gilbert	Chargé de Cours	En poste
16	TSOPZE Norbert	Chargé de Cours	En poste
17	WAKU KOUAMOU Jules	Chargé de Cours	En poste

18	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
19	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Assistant	En poste
20	HAMZA Adamou	Assistant	En poste
21	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Assistant	En poste
22	MAKEMBE. S . Oswald	Assistant	En poste
23	MESSI NGUELE Thomas	Assistant	En poste
24	MEYEMDOU Nadège Sylvianne	Assistante	En poste
25	NKONDOCK. MI. BAHANACK.N.	Assistant	En poste

7- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (35)
--

1	AYISSI Raoult Domingo	Professeur	Chef de Département
2	EMVUDU WONO Yves S.	Professeur	<i>Inspecteur MINESUP</i>

3	KIANPI Maurice	Maître de Conférences	En poste
4	MBANG Joseph	Maître de Conférences	En poste
5	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	En poste
6	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Maître de Conférences	En poste

7	NKUIMI JUGNIA Célestin	Maître de Conférences	En poste
8	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	<i>Chef service des programmes & Diplômes/FS/UYI</i>
9	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	Directeur/AIMS Rwanda
10	TCHOUNDJA Edgar Landry	Maître de Conférences	En poste

11	BOGSO ANTOINE MARIE	Chargé de Cours	En poste
12	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	Chef Cellule MINPLAMAT
13	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
14	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
15	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
16	FOMEKONG Christophe	Chargé de Cours	En poste
17	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
18	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
19	MENGUE MENGUE David Joe	Chargé de Cours	En poste
20	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
21	NIMPA PEFOUKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
22	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
23	TAKAM SOH Patrice	Chargé de Cours	En poste
24	TCHANGANG Roger Duclos	Chargé de Cours	En poste
25	TETSADJIO TCHILEPECK M. E.	Chargé de Cours	En poste
26	TIAYA TSAGUE N. Anne-Marie	Chargée de Cours	En poste

27	BITYE MVONDO Esther Claudine	Assistante	En poste
28	FOKAM Jean Marcel	Assistant	En poste

29	LOUMNGAM KAMGA Victor	Assistant	En poste
30	MBATAKOU Salomon Joseph	Assistant	En poste
31	MBIAKOP Hilaire George	Assistant	En poste
32	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
33	OGADOA AMASSAYOGA	Assistant	En poste
34	TCHEUTIA Daniel Duviol	Assistant	En poste
35	TENKEU JEUFACK Yannick Léa	Assistant	En poste

8- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (21)

1	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2	NYEGUE Maximilienne Ascension	Professeur	<i>VICE-DOYEN / DSSE</i>
3	NWAGA Dieudonné M.	Professeur	En poste

4	ASSAM ASSAM Jean Paul	Maître de Conférences	En poste
5	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
6	KOUITCHEU MABEKU Epse KOUAM Laure Brigitte	Maître de Conférences	En poste
7	RIWOM Sara Honorine	Maître de Conférences	En poste
8	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Maître de Conférences	En poste

9	BODA Maurice	Chargé de Cours	En poste
10	BOUGNOM Blaise Pascal	Chargé de Cours	En poste
11	ESSONO OBOUGOU Germain G.	Chargé de Cours	En poste

12	NJIKI BIKOÏ Jacky	Chargée de Cours	En poste
13	TCHIKOUA Roger	Chargé de Cours	En poste

14	ESSONO Damien Marie	Assistant	En poste
15	LAMYE Glory MOH	Assistant	En poste
16	MEYIN A EBONG Solange	Assistante	En poste
17	MONI NDEDI Esther Del Florence	Assistante	En poste
18	NKOUDOU ZE Nardis	Assistant	En poste
19	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Assistante	En poste
20	TAMATCHO KWEYANG Blandine Pulchérie	Assistante	En poste
21	TOBOLBAÏ Richard	Assistant	En poste

9. DEPARTEMENT DE PYSIQUE(PHY) (44)

1	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2	DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM	Professeur	En poste
3	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Professeur	<i>Vice-Recteur. UN</i>
4	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
5	KOFANE Timoléon Crépin	Professeur	En poste
6	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
7	NANA NBENDJO Blaise	Professeur	En poste
8	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	Chef de Département
9	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	En poste
10	NOUAYOU Robert	Professeur	En poste
11	PEMHA Elkana	Professeur	En poste

12	TABOD Charles TABOD	Professeur	Doyen FS Univ/Bda
13	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
14	WOAFO Paul	Professeur	En poste
15	ZEKENG Serge Sylvain	Professeur	En poste

16	BIYA MOTTO Frédéric	Maître de Conférences	DG/HYDRO Mekin
17	BODO Bertrand	Maître de Conférences	En poste
18	ENYEGUE A NYAM épse	Maître de Conférences	En poste
19	EYEBE FOU DA Jean sire	Maître de Conférences	En poste
20	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
21	HONA Jacques	Maître de Conférences	En poste
22	MBANE BIOUELE César	Maître de Conférences	En poste
23	MBINACK Clément	Maître de Conférences	En poste
24	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
25	SAIDOU	Maître de Conférences	Chef de centre/IRGM/MINRESI
26	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
27	SIMO Elie	Maître de Conférences	En poste
28	VONDOU Derbetini Appolinaire	Maître de Conférences	En poste
29	WAKATA née BEYA Annie	Maître de Conférences	<i>Directeur/ENS/UYI</i>

30	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
31	CHAMANI Roméo	Chargé de Cours	En poste
32	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
33	FOUEDJIO David	Chargé de Cours	Chef Cell. MINADER
34	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Chargé de Cours	En poste
35	MELI'I Joelle Larissa	Chargée de Cours	En poste
36	MVOGO ALAIN	Chargé de Cours	En poste
37	OBOUNOU Marcel	Chargé de Cours	DA/Univ Inter Etat/Sangmalima

38	WOULACHE Rosalie Laure	Chargée de Cours	En poste
----	------------------------	------------------	----------

39	AYISSI EYEBE Guy François Valérie	Assistant	En poste
40	DJIOTANG TCHOTCHOU Lucie Angennes	Assistante	En poste
41	LAMARA Maurice	Assistant	En poste
42	OTTOU ABE Martin Thierry	Assistant	En poste
43	TEYOU NGOUPOU Ariel	Assistant	En poste
44	WANDJI NYAMSI William	Assistant	En poste

10- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (42)

1	BITOM Dieudonné	Professeur	<i>Doyen / FASA / UDs</i>
2	FOUATEU Rose épouse YONGUE	Professeur	En poste
3	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Professeur	En poste
4	NDJIGUI Paul Désiré	Professeur	Chef de Département
5	NGOS III Simon	Professeur	En poste
6	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
7	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste

8	ABOSSOLO née ANGUE Monique	Maître de Conférences	<i>Vice-Doyen / DRC</i>
9	BISSO Dieudonné	Maître de Conférences	<i>Directeur/Projet Barrage Memve'ele</i>
10	EKOMANE Emile	Maître de Conférences	En poste
11	GANNO Sylvestre	Maître de Conférences	En poste
12	GHOGOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	CD/Uma
13	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>CT/ MINIMDT</i>
14	NGUEUTCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	CEA/MINRESI
15	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste

16	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste
17	ONANA Vincent Laurent	Maître de Conférences	<i>Chef service Maintenance & du Matériel/UYII</i>
18	TCHAKOUNTE J. épse NUMBEM	Maître de Conférences	<i>Chef.cell / MINRESI</i>
19	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Maître de Conférences	En poste
20	TEMDJIM Robert	Maître de Conférences	En poste
21	YENE ATANGANA Joseph Q.	Maître de Conférences	<i>Chef Div. /MINTP</i>
22	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	<i>DG/ART</i>

23	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
24	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
25	ELISE SABABA	Chargé de Cours	En poste
26	ESSONO Jean	Chargé de Cours	En poste
27	EYONG JOHN TAKEM	Chargé de Cours	En poste
28	FUH Calistus Gentry	Chargé de Cours	<i>Sec. D'Etat/MINMIDT</i>
29	LAMILLEN BILLA Daniel	Chargé de Cours	En poste
30	MBESSE CECILE OLIVE	Chargée de Cours	En poste
31	MBIDA YEM	Chargé de Cours	En poste
32	METANG Victor	Chargé de Cours	En poste
33	MINYEM Dieudonné-Lucien	Chargé de Cours	<i>CD/Uma</i>
34	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
35	NGO BIDJECK Louise Marie	Chargée de Cours	En poste
36	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
37	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargé de Cours	En poste
38	TCHAPCHET TCHATO De P.	Chargé de Cours	En poste
39	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
40	TEMGA Jean Pierre	Chargé de Cours	En poste

41	FEUMBA Roger	Assistant	En poste
42	MBANGA NYOBE Jules	Assistant	En poste

Répartition chiffrée des Enseignants de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I

NOMBRE D'ENSEIGNANTS					
DÉPARTEMENT	Professeurs	Maîtres de Conférences	Chargés de Cours	Assistants	Total
BCH	8 (01)	14 (10)	13 (05)	05 (02)	40 (18)
BPA	15 (01)	8 (06)	18 (05)	10 (03)	51 (15)
BPV	07 (01)	9 (01)	8 (06)	07 (01)	31 (9)
CI	10 (01)	09 (02)	10 (02)	03 (0)	32 (5)
CO	6 (0)	21 (05)	05 (02)	08 (02)	40 (9)
IN	2 (0)	1 (0)	14 (01)	08 (01)	25 (2)
MAT	2 (0)	8 (0)	15 (01)	09 (02)	34 (7)
MIB	3 (0)	5 (03)	06 (01)	06 (02)	20 (6)
PHY	15 (0)	14 (02)	09 (03)	08 (03)	46 (8)
ST	7 (1)	15 (01)	18 (05)	02 (0)	42 (7)
Total	75 (5)	104 (30)	116 (31)	66 (16)	361 (86)
Soit un total de			361 (86) dont :		
-	Professeurs			75 (5)	
-	Maîtres de Conférences			104 (30)	
-	Chargés de Cours			116 (31)	
-	Assistants			66 (16)	
	() = Nombre de Femmes			86	

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS	iii
LIST OF PERMANENT TEACHING STAFF.....	iii
LISTE DES FIGURES	xxvi
LISTE DES TABLEAUX	xxvii
Résumé	xxix
Abstract	xxxii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE	5
I.1 Arthropodes intervenant dans le recyclage de la matière organique.....	6
I.1.1 Historique de l'entomologie forensique.....	6
I.1.2 Définition et application de l'entomologie médico-légale.....	6
I.2 Groupes zoologiques d'arthropodes inféodés aux carcasses	8
I.2.1 Diptères	9
I.2.2 Coléoptères.....	10
I.2.3 Hyménoptères	11
I.3 Groupes écologiques des arthropodes inféodés à une carcasse	15
I.3.1 Espèces nécrophages.....	15
I.3.2 Espèces nécrophiles	16
I.3.3 Espèces omnivores.....	16
I.3.4 Espèces opportunistes	16
I.4 Cycle de développement des arthropodes nécrophages	16
I.5- Etapes de décomposition d'une carcasse	19

I.5.1 Etat frais	19
I.5.2 Etat de gonflement	19
I.5.3 Etat de putréfaction ou de décomposition active	19
I.5.4 Etat de putréfaction avancée ou de décomposition avancée	20
I.5.5 Etat squelette	20
I.6 Estimation de l'intervalle post-mortem par les méthodes entomologiques	20
I.6.1 Définition	20
I.6.2 Méthodes de datation entomologique	21
I.7- Entomo-toxicologie	26
I.7.1 Techniques de détection des drogues sur un cadavre.....	27
I.7.2 Effets des médicaments sur le taux de croissance des insectes.....	27
I.8 Détermination du lieu du décès.....	28
I.9 Paramètres influençant la succession des arthropodes sur une carcasse animale	29
I.9.1 Facteurs abiotiques.....	29
I.9.2 Facteurs biotiques	32
I.10 Intérêt des insectes nécrophages dans le traitement des maladies	33
I.11 Considérations éthiques	34
I.11.1 Euthanasie	34
I.11.2 Objectif.....	34
I.11.3 Déroulement.....	34
I.11.4 Méthodes d'euthanasie recommandées pour le porc domestique	38
I.11.5 Avantages et inconvénients de quelques méthodes d'euthanasie du porc domestique.....	38
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	42
II.1 Présentation de la localité et des sites d'étude.....	43
II.2 Matériels	44
II.2.1 Matériel animal.....	44
II.2.2 Matériel technique	45

II.3 Méthodes.....	45
II.3.1 Evaluation des paramètres environnementaux et mesures de protection personnelle	45
II.3.2 Mise à mort du porc domestique.....	45
II.3.3 Echantillonnage des arthropodes nécrophages	47
II.3.4 Elevage des larves de Diptères et pupes	48
II.3.5 Identification et conservation des spécimens.....	49
II.3.6 Analyse des données	50
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	52
III.1 Résultats	53
III.1.1 Conditions environnementales	53
III.1.2 Différents stades de décomposition des carcasses de porcs domestiques emballées	53
III.1.3 Description des états des cadavres durant les quatre saisons dans les différents sites d'expérimentation.....	54
III.1.4 Composition taxinomique globale de la nécroentomofaune collectée dans la localité de Malombo	63
III.1.5 Composition taxinomique en fonction des stades de décomposition.....	63
.....	66
III.1.6 Composition taxinomique de l'entomofaune nécrophage adulte en fonction des saisons/sites et des états de décomposition des porcs	67
III.1.7 Constance des espèces d'arthropodes nécrophages échantillonnés sur les carcasses de porcs domestiques emballées pendant les différentes saisons (dans les sites).....	77
III.1.8 Espèces d'arthropodes récoltées à chaque stade de décomposition de la carcasse de porc emballée dans la localité de Malombo et utilisables à la détermination de l'IPM	83
III.1.9 Diversité des arthropodes nécrophages récoltés sur les carcasses de porcs domestiques emballées	93
III.1.10 Dissimilarité des faunes d'arthropodes entre les différents stades de décomposition des carcasses emballées de porcs domestiques à Malombo	95
III.1.11 Dissimilarité des faunes d'arthropodes entre les différentes saisons/sites d'étude à Malombo	96

III.1.12 Quelques photos des familles d'arthropodes nécrophages échantillonnées sur les carcasses de <i>Sus scrofa domesticus</i> emballées dans la forêt équatoriale de Malombo	97
III.2 Discussion	102
III.2.1 Analyse des différents stades de décomposition des porcs en fonction des facteurs endogènes et exogènes	102
III.2.1 Nécroarthropodofaune en fonction des saisons	104
III.2.3 Relation entre la nécroarthropodofaune, les différents stades de décompositions et le type de milieu	106
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	107
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	110
ANNEXE 1: article publié en relation avec la thèse	140

LISTE DES FIGURES

Figure 1: cycle de développement d'un Diptère d'après Lemonnier & Reguardati (2012).....	18
Figure 2: points d'application de l'arme lors d'une euthanasie à l'aide d'un pistolet	40
Figure 3: position des électrodes en cas d'euthanasie par électrocution	41
Figure 4: localisation de Malombo et des sites d'étude (carte de l'Institut National de Cartographie modifiée).....	44
Figure 5: Porcs domestiques (a) après injection de barbiturique et (b) pendant la strangulation. ...	46
Figure 6: Dispositif expérimental: (a) quadrat entouré d'une grille en treillis et (b) avec le substrat.....	46
Figure 7: photo des pitfalls disposés autour du sac mortuaire.	48
Figure 8: photos d'élevage (a) des larves de Diptères collectées à l'intérieur du sac mortuaire et (b) des pupes.....	49
Figure 9: Porcs emballé au stade frais.....	54
Figure 10: Stade de gonflement montrant (a) les lividités sur la face abdominale, (b) un début d'écoulement des liquides corporels sous forme de mousse au niveau du groin et (c) les premières pontes sur le sac mortuaire	55
Figure 11: Stade de gonflement avancé: (a) augmentation du volume du substrat avec écoulement des liquides corporels noirâtres au niveau du groin, (b) apparition des premières larves L1 des Diptères dans la bouche du cadavre (c) pontes des Diptères à l'extérieur du sac mortuaire.	57
Figure 12: Etapes successives du stade de décomposition active d'un porc emballé; observer l'abondance de larves de Diptères.....	58
Figure 13: Evolution du stade de décomposition avancée (a, c et e) sous une canopée dense et (b, d et f) sous canopée ouverte.....	60
Figure 14: Phases successives du stade squelette des carcasses de porcs domestiques décomposés (a et c) sous canopée dense, (b et d) sous canopée ouverte et (f) jusqu'au dessèchement complet de la carcasse.	62

Figure 15: Quelques familles de Diptères (A), Mésostigmatés (B), Hyménoptères (C) et Coléoptères (D) nécrophages échantillonnées sur les carcasses de <i>Sus scrofa domesticus</i> emballées dans la zone forestière équatoriale de Malombo.	101
---	-----

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: caractéristiques du développement de quelques espèces de Calliphoridae (Marchenko, 2001).....	22
Tableau II: récapitulatif des lignes directrices des méthodes d'euthanasie acceptables pour les animaux d'expérimentation (CCPA, 2003; 2005; 2009; 2010)	36
Tableau III: différentes techniques d'euthanasie recommandées pour le porc en fonction de son poids corporel ou de l'âge (APP & PC, 2016)	38
Tableau IV: intervalle post-mortem en fonction des stades de décomposition des carcasses de porcs domestiques emballées durant les quatre saisons et dans les quatre habitats de la forêt de Malombo	53
Tableau V: composition taxinomique globale des arthropodes récoltés sur les carcasses de porcs domestiques emballées à Malombo entre Janvier et Novembre 2018	63
Tableau VI: composition taxinomique et abondance de la nécro-arthropodofaune en fonction des stades de décomposition des carcasses de porcs emballées dans la forêt de Malombo	65
Tableau VII: composition des escouades d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc domestique emballée en GSS/site1 à Malombo	68
Tableau VIII: composition des escouades d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc domestique emballée en PSP/site 2 à Malombo.....	70
Tableau IX: composition des escouades d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc domestique emballée en PSS/site 3 à Malombo.....	72
Tableau X: composition des escouades d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc domestique emballée en GSP/site 4 à Malombo	75
Tableau XI: synthèse des abondances des escouades et des nombres de taxons de la nécro-arthropodofaune en fonction des stades de dégradation des substrats emballés et des saisons/sites à Malombo entre Janvier et Novembre 2018.....	77
Tableau XII: taux d'occurrence des différents ordres des arthropodes nécrophages colonisant les carcasses de porcs emballées par saison en fonction des saisons ou sites	78

Tableau XIII: taux d'occurrence des différentes espèces d'arthropodes nécrophages colonisant les carcasses de porcs emballées par saison (par site)	79
Tableau XIV: espèces d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc emballée durant la GSS/Site 1 à Malombo en fonction de l'évolution cadavérique	84
Tableau XV: espèces d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc emballée pendant la PSP/Site 2 à Malombo en fonction de l'évolution cadavérique	86
Tableau XVI: espèces d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc emballée au cours de la PSS/Site 3 à Malombo en fonction de l'évolution cadavérique.....	88
Tableau XVII: espèces d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc emballée le long de la GSP/Site 4 à Malombo en fonction de l'évolution cadavérique	90
Tableau XVIII: valeurs des différents indices de diversité écologique des nécroarthropodofaunes lors des différents stades de dégradation des carcasses de porcs emballées dans la forêt de Malombo	93
Tableau XIX: valeurs des différents indices de diversité arthropodienne des différents stades de dégradation de la carcasse de porc emballée en GSS (site 1) à Malombo	93
Tableau XX: valeurs des différents indices de diversité arthropodienne des différents stades de dégradation de la carcasse de porc emballée en PSP (site 2) à Malombo	94
Tableau XXI: valeurs des différents indices de diversité arthropodienne des différents stades de dégradation de la carcasse de porc emballée en PSS (site 3) à Malombo	94
Tableau XXII: valeurs des différents indices de diversité arthropodienne des différents stades de dégradation de la carcasse de porc emballée en GSP (site 4) à Malombo	95
Tableau XXIII: valeurs de l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis des arthropodofaunes nécrophages entre les différents stades de décompositions des carcasses de porcs emballées à Malombo	95
Tableau XXIV: indice de dissimilarité de Bray-Curtis (BC_{Sites}) des arthropodofaunes nécrophages colonisant les carcasses de porcs emballées entre les différentes saisons à Malombo	96

Résumé

Lorsqu'un animal meurt, il est rapidement visité et/ou colonisé par de nombreux organismes tels que les bactéries, les champignons, les arthropodes ainsi que les vertébrés. Ces visiteurs arrivent à des moments précis de la dégradation du cadavre qui est influencée tant par les conditions environnementales que par l'activité des différents décomposeurs. L'entomologie forensique utilise les résultats obtenus de l'étude des arthropodes nécrophages, considérés comme de véritables horloges biologiques qui peuvent détecter un cadavre à une grande distance, pour résoudre des affaires criminelles. C'est dans ce sens que ce travail a été réalisé pour (1) inventorier les arthropodes nécrophages colonisant et impliqués dans le processus de décomposition des cadavres de porcs domestiques emballés à différentes saisons/sites, (2) identifier les différents stades de décomposition de ces dépouilles, et (3) déterminer les intervalles post mortem au cours des différentes saisons climatiques/sites dans la forêt de Malombo dans le Département du Nyong et Kélé Région du Centre Cameroun. Pour atteindre cet objectif, de janvier à novembre 2018 quatre porcs en bonne santé, de poids compris entre 63 et 65 kg, deux mâles et deux femelles, ont été euthanasiés puis strangulés (à l'aide d'une corde pour éviter toute effusion de sang) et introduits, chacun, dans un sac mortuaire biodégradable. Ces dépouilles ont été déposées dans un quadrat de 5m x 5m entouré d'un grillage treillis de maille 2cm x 2cm ne pouvant laisser pénétrer que les arthropodes colonisateurs du cadavre. En grande saison sèche (GSS) et petite saison des pluies (PSP), les échantillonnages d'arthropodes nécrophages, d'une durée d'environ 1h30mn, ont été effectués trois fois par jour (8h, 12h et 16h); par contre en petite saison sèche (PSS) et grande saison de pluies (GSP), les échantillonnages ont été effectués deux fois par jour (8h et 14h). Ces échantillonnages ont été réalisés quotidiennement pendant 31 jours puis hebdomadairement. Les arthropodes récoltés à l'aide de pitfalls et de pinces souples ont été fixés dans de l'alcool éthylique à 70° contenu dans des tubes en plastique puis identifiés autant que possible au niveau spécifique. L'observation des modifications physiques des dépouilles a permis de reconnaître six stades de décomposition: le frais, le gonflement, le gonflement avancé, la putréfaction, la putréfaction avancée et le squelette. La durée de l'intervalle post mortem a varié au cours des différentes saisons/sites de même que la faune nécrophage qui les composait. Au total, 46082 individus, répartis dans 3 classes, 12 ordres, 48 familles et 158 espèces/morphotypes ont été échantillonnés à divers stades de

décomposition des carcasses. Cette arthropodofaune était représentée par 29545 Diptères soit 64,1%, 9231 Mésostigmates soit 20,03%, 3432 Hyménoptères soit 7,45%, 2403 Coléoptères soit 5,2%, 370 Hémiptères soit 0,72%, 307 Orthoptères soit 0,67%, 304 Aranéides soit 0,66%, 301 Lépidoptères soit 0,65%, 130 Spirostreptidés soit 0,28%, 61 Isoptère soit 0,13%, 33 Dictyoptères soit 0,07%, enfin 5 Polydesmidés soit 0,01% de l'échantillon total. Sous une canopée ouverte, c'est-à-dire en PSP et PSS, la décomposition des cadavres a été rapide, alors que sous une canopée dense, c'est-à-dire pendant la GSS et GSP, les cadavres emballés sont restés humides et leur durée de décomposition a été longue. Ces résultats montrent que les facteurs abiotiques (température, environnement, humidité relative et pluviométrie) jouent un rôle important sur la décomposition d'un cadavre par les arthropodes nécrophages et interviennent dans la détermination de l'intervalle post-mortem.

Mots-clés : Science forensique, Arthropodes nécrophages, Escouades, Porc emballé, Saisons/Sols, Intervalle Post-Mortem, Forêt, Cameroun.

Abstract

When an animal dies, it is quickly visited and colonized by many organisms such as bacteria, fungi, arthropods as well as vertebrates. These visitors arrive at specific times during the degradation of the corpse, which is influenced both by environmental conditions and by the activity of the various decomposers. Forensic entomology uses the results obtained from the study of scavenging arthropods, considered to be real biological clocks that can detect a carrion from a great distance, to solve criminal cases. It is in this sense that this work was carried out to (1) inventory the necrophagous arthropods colonizing and involved in the decomposition process of the corpses of domestic pigs packaged at different seasons/sites, (2) identify the different stages of decomposition of the wrapped carcasses and (3) determine the post mortem intervals during the different climatic seasons/sites in the Malombo forest in the Department of Nyong and Kélé Central Region of Cameroon. To achieve this objective, from January to November 2018, four healthy pigs, weighing between 63 and 65 kg, two males and two females, were euthanized and then strangled (with a rope to confirm death and prevent any bloodshed) and each inserted in a biodegradable body bag. These remains were deposited in a 5m x 5m quadrat surrounded by a lattice mesh screen 2cm x 2cm which can only allow arthropods colonizing the covered corpse. In high dry season (HDS) and low rainy season (LRS), necrophagous arthropod sampling, lasting approximately 1h 30 min, were carried out three times a day (8 am, 12 pm and 4 pm); However, in the low dry season (LDS) and the high rainy season (HRS), sampling was carried out twice a day (8 am and 2 pm). Sampling was conducted successively every day for 31 days and then weekly. Arthropods collected with pitfalls and pliers were fixed in 70° ethyl alcohol contained in plastic tubes and identified as far as possible to the specific level. Observation of physical modifications in the remains identified six stages of decomposition: fresh, bloating, advanced bloating, active decomposition, advanced decomposition and skeleton. The duration of the post-mortem interval varied over the different seasons/sites as well as the necrophagous fauna that composed them. A total of 46,082 individuals, distributed in 3 classes, 12 orders, 48 families, and 158 species/morphotypes were sampled at various stages of carrion decompositions. This arthropodofauna was represented by 29545 Diptera or 64.1%, 9231 Mesostigmata or 20.03%, 3432 Hymenoptera or 7.45%, 2403 Coleoptera or 5.2%, 370 Hemiptera or 0.72%, 307 Orthoptera or 0.67%, 304 Araneids or 0.66%,

301 Lepidoptera or 0.65%, 130 Spirostreptida or 0.28%, 61 Isoptera or 0.13%, 33 Dictyoptera or 0.07%, 5 Polydesmida or 0.01% of the total sample. Under an open canopy, i.e. in LRS and LDS, the decomposition of the carrions was rapid, while under a dense canopy, i.e. during the HDS and HRS, the packed corpses remained wet and their decomposition time was long. These results show that abiotic factors (temperature, environment, relative humidity and rainfall) play an important role in the decomposition of a corpse by necrophagous arthropods and determine the post-mortem interval.

Keywords: Forensic science, necrophagous Arthropods, Squads, Packed pig, Seasons/Soils, Post-Mortem Interval, Forest, Cameroon.



INTRODUCTION

Le terme entomologie provient du grec « entomon » et « logos » signifiant respectivement « insecte » et « science ». L'entomologie englobe plusieurs sous-domaines dont trois principaux qui sont (a) l'entomologie médico-vétérinaire qui se concentre surtout sur les insectes vecteurs de maladies causant des nuisances aux humains et aux animaux, (b) l'entomologie agricole qui s'intéresse aux arthropodes s'attaquant aux cultures et aux denrées stockées et (c) l'entomologie forensique qui utilise les résultats obtenus de l'étude des arthropodes nécrophages, considérés comme de véritables horloges biologiques, pour résoudre des affaires criminelles (Hall, 2001; Brenner, 2004; Wyss & Cherix, 2006; Amendt *et al.*, 2007; Hall & Huntington, 2009; Frederickx *et al.*, 2011). Les arthropodes nécrophages sont des agents biologiques qui possèdent des organes chémorécepteurs extrêmement développés à partir desquels ils peuvent détecter un cadavre à une grande distance. Leur intervention influe notablement sur la vitesse de dégradation d'un cadavre (Charabidzé, 2008; Charabidzé *et al.*, 2008). Une dépouille abandonnée se décompose graduellement en fonction des conditions climatiques du milieu (Charabidzé, 2012). Lorsqu'un animal meurt, il est rapidement visité et colonisé par de nombreux organismes tels que les bactéries, les champignons, les arthropodes (dont les insectes) ainsi que les vertébrés (Carter *et al.*, 2007). Certains de ces visiteurs arrivent tôt tandis que d'autres arrivent plus tardivement, ce qui définit le principe des escouades de Mégnin (1894). Pour ces différents organismes un cadavre constitue un substrat nourricier, un site de reproduction, un refuge ou encore un territoire idéal bien que fluctuant au rythme des processus de décomposition (Frederickx *et al.*, 2011; Boulay, 2015). Les animaux consommateurs des dépouilles sont attirés par les odeurs que dégagent les cadavres (Dekeirsscheiter *et al.*, 2010; Annabelle & Sophie, 2012). Les arthropodes nécrophages sont essentiellement constitués des Diptères, des Coléoptères, des Hyménoptères et des Acariens. Les larves de quelques Lépidoptères Tinéidés sont également nécrophages; de nombreux Hyménoptères sont aussi présents sur les corps en tant que prédateurs (cas des fourmis) ou parasites (cas des Chalcididés, des Ptéromalidés) (Charabidzé & Bourel, 2007). Les arthropodes nécrophages permettent d'obtenir des indices sur les circonstances du décès et d'estimer le temps écoulé entre ce dernier et la découverte du cadavre, généralement appelé délai post-mortem ou intervalle post-mortem (Mougeat, 2012; Teo *et al.*, 2014; Krytal, 2016). La détermination de l'intervalle post-mortem repose sur une parfaite connaissance de la biologie des arthropodes nécrophages (Dekeirsscheiter *et al.* 2011). Il s'agit d'une datation à court, moyen ou à long termes. A ce titre, plusieurs expériences ont été effectuées dans divers milieux sur des carcasses: de rats (Feugang Youmessi *et al.*, 2012), d'hommes (Eduardo *et al.*, 2014), de porcs domestiques suspendues (Matthanawee *et al.*, 2015), de porcs exposées en plein air en forêt (Koffi *et al.*, 2018; Hassane Dao *et al.*, 2019a), de porcs enfouies partiellement ou totalement dans le sol (Simonin, 1967; Leclercq & Verstraeten, 1988; Wyss & Cherix, 2006), complètement ou partiellement immergées dans de l'eau (Barrios & Wolff, 2011) mais non encore emballées en pleine forêt. La plupart de ces expérimentations ont démontré que le processus de

décomposition se réalise en plusieurs étapes assez distinctes. Celles-ci prennent en compte tous les changements qui interviennent de la mort de l'animal jusqu'à ce que ses restes ne soient plus constitués que d'os, de cheveux et de la peau sèche (Mansfield, 2003). Le nombre d'étapes successives de l'altération d'une carcasse varie d'un auteur à un autre, étant donné que ce processus de dégradation dépend fortement des conditions environnementales (Merritt *et al.*, 2000; Dekeirsscheiter *et al.*, 2010; Koffi *et al.*, 2018; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b).

Au cours des deux premières décennies du 21^e siècle, de considérables progrès ont été réalisés dans l'étude de la diversité biologique de l'arthropodofaune nécrophage en Europe (Wyss & Cherix, 2006; Charabidzé & Bourel, 2007), en Amérique (Benecke, 2002; Eduardo *et al.*, 2014), en Asie (Varatharajan & Sen, 2000; Xiaoying *et al.*, 2014), en Afrique (Hall, 2001; Kelly *et al.*, 2008) et au Cameroun (Feugang Youmessi *et al.*, 2012; Feugang Youmessi, 2014). Aucun des travaux suscités n'a considéré un cadavre emballé pour dissimulation. Fort de ce constat, il nous a paru opportun d'étudier la faune nécrophage des dépouilles de porc domestique emballées, *Sus scrofa domesticus* (Linnaeus, 1758); cette espèce est considérée comme proche de l'homme du point de vue physiologique (Bustand & McClellan, 1965).

Une question principale oriente ce travail;

quels sont les facteurs endogènes et exogènes qui affectent la décomposition d'un cadavre emballé et sa datation ?

Cette question suscite un certain nombre de questions spécifiques;

-les différents stades de décomposition observés correspondent-ils à ceux des précédents travaux effectués sur le porc domestique ?

-la variation chronologique de l'activité de fourragement de l'arthropodofaune nécrophage impacte-t-elle de façon appréciable sur la vitesse de décomposition des carcasses emballées au cours des différentes saisons/sites ?

-l'aspect de la dépouille emballée peut-il permettre sa datation en fonction des différentes saisons climatiques/sites ?

-la diversité de la faune nécrophage entre les différents stades de décomposition d'une carcasse emballée varie-t-elle d'une saison climatique/site à l'autre au cours d'une année ?

De ces questionnements découle une hypothèse principale;

certaines espèces d'arthropodes sont propres à certains stades de décomposition d'un cadavre emballé en fonction des facteurs abiotiques et peuvent déterminer l'intervalle post mortem.

Cet hypothèse générale soulève des hypothèses spécifiques découlant de ces questions de recherches;

- les stades de décomposition du porc domestique emballée sont les mêmes au cours des différentes saisons climatiques/sites;

- dans une localité donnée la nécroarthropodofaune des porcs emballés varie en fonction des stades de décompositions et des saisons/sites;

- les communautés d'arthropodes échantillonnées et l'aspect des dépouilles peuvent permettre de dater ces dernières au cours des saisons climatiques/sites;

- d'un stade de décomposition à l'autre la diversité de l'arthropodofaune nécrophage du substrat emballé est la même au cours des différentes saisons climatiques/sites.

Pour justifier ces hypothèses nous proposons de manière générale de repertorier la faune d'arthropodes nécrophages colonisant une dépouille emballée de porc domestique à différentes saisons en milieu forestier/site à Malombo, Région du Centre Cameroun et son usage à la détermination de l'intervalle post mortem des dépouilles. Il s'agira plus spécifiquement :

- d'identifier les différents stades de décomposition des dépouilles emballées du porc domestique;

- d'inventorier, selon un ordre chronologique, la nécroarthropodofaune en fonction des saisons climatiques/sites et les stades de décomposition;

- de déterminer les intervalles post mortem au cours des différentes saisons climatiques/sites;

- de comparer les diversités spécifiques des faunes d'arthropodes nécrophages entre les différents stades de dégradation du substrat emballé à chaque saison/site au cours de l'année.

A la suite de cette introduction, ce document est subdivisé en trois chapitres. Le premier chapitre présente la revue de la littérature; le second est consacré à la description de la localité, du matériel biologique, des différentes méthodes utilisées pour la réalisation de cette étude. Le troisième chapitre enfin présente les principaux résultats obtenus au cours de ce travail et leur discussion. Une conclusion, des perspectives et les références bibliographiques clôturent ce document.



**CHAPITRE I : REVUE DE LA
LITTERATURE**

I.1 Arthropodes intervenant dans le recyclage de la matière organique

En tant que classe, les insectes constituent les organismes vivants les plus réussis de l'histoire de la planète. Ils représentent plus de 50% de toutes les espèces eucaryotes connues (Grimaldi & Engel, 2005); ils colonisent tous les espaces de la planète et y exercent une multitude de fonctions écologiques. Les divers compartiments de la biosphère sont liés par des transferts de matière et d'énergie entretenus par les chaînes trophiques et les cycles biogéochimiques. Trois processus fondamentaux en résument le fonctionnement: la production ou la synthèse de la matière organique par les organismes autotrophes, la consommation ou l'ingestion de cette matière organique par les êtres hétérotrophes et la décomposition ou la minéralisation de cette dernière, c'est-à-dire son recyclage. Le recyclage fait intervenir les nécrophages, les géophages et les coprophages, qui s'attaquent respectivement aux cadavres, à la litière, aux fèces et les décomposent peu à peu en assurant le retour progressif au monde minéral des éléments contenus dans la matière organique (Barbault, 2000; Dajoz, 2000; Charabidzé, 2008). Dans ces chaînes trophiques, les arthropodes en général et les insectes en particulier occupent une place de choix de par leur rôle et leur abondance. En effet, ils représentent le premier maillon assurant le recyclage de la matière organique. La composition de leurs peuplements et la dynamique de leurs populations sont fonction de la taille des organismes à décomposer, du stade de décomposition de ces derniers et du milieu où se trouve un cadavre (Simonin, 1967).

I.1.1 Historique de l'entomologie forensique

La première application de l'entomologie à la médecine légale remonte au XIII^e siècle, dans un manuel chinois où l'on rapporte le premier exemple d'une expertise entomologique réussie (Keh, 1985). Selon cet auteur, après un meurtre commis dans une rizière, les fermiers se sont rassemblés et ont déposé leurs outils sur le sol. Les mouches n'étant attirées que par une seule serpe, son propriétaire a été accusé et condamné. Après le XIII^e siècle, cette science n'a connu un regain d'intérêt qu'à partir des années 1990 lorsque des chercheurs ont successivement utilisé cette technique dans d'autres pays (Leclercq & Brahy, 1990).

I.1.2 Définition et application de l'entomologie médico-légale

L'entomologiste médico-légal s'intéresse aux insectes récoltés sur et autour d'une carcasse pour élucider des meurtres, des suicides, des négligences, des accidents et des braconnages (Villet, 2011). Après la mort, le corps subit une décomposition par des microorganismes tels que les bactéries et les champignons saprophytes, les arthropodes dont les plus destructeurs sont les insectes et plus particulièrement leurs larves. Lorsque la mort remonte à plus de 72 heures ou que des signes de putréfaction avancée sont visibles, les techniques thanatologiques usuelles telles que les méthodes thermométriques, les rigidités, les hypostases ou les méthodes biochimiques ne sont plus efficaces pour

déterminer le moment du décès. La présence et l'identification des insectes sur le corps et de façon plus large sur la scène du décès sont de meilleurs bio-indicateurs pour dater la mort. L'étude des insectes ainsi que celles d'autres arthropodes (acariens) dans un contexte judiciaire ou médico-légal définit l'entomologie médico-légale (Hall, 2001). On parle également d'entomologie judiciaire, légale ou criminelle. Cependant, la dénomination « entomologie forensique » tend à supplanter toutes les autres bien qu'elle inclut d'autres secteurs tels que l'entomologie agricole (sécurité alimentaire) et l'entomologie urbaine.

L'entomologie médico-légale implique la connaissance de la taxonomie, de l'écologie, de la biologie, de la physiologie et de la toxicologie des insectes dans les questions juridiques (Hall, 2001). La procédure d'entomologie médico-légale est fondée sur le fait qu'un résidu en décomposition est un habitat temporaire, mais en évolution constante, doté d'une riche source de nourriture permettant de supporter un certain nombre d'organismes de différents niveaux trophiques. Sur le plan écologique, un corps mort en décomposition est un microhabitat pour un certain nombre d'organismes tels que les bactéries, les champignons, les plantes et les animaux. Les arthropodes, en particulier les insectes, sont les créatures dominantes de ce microhabitat.

L'entomologie médico-légale utilise des résultats obtenus de l'étude des insectes à des fins légales, particulièrement dans une cour de justice (Brenner, 2004; Wyss & Cherix, 2006; Amendt *et al.*, 2007; Frederickx *et al.*, 2010). Elle est l'application de la biologie des insectes dans les investigations criminelles (Merritt *et al.*, 2000), ou l'utilisation des liens qui existent entre la présence d'insectes et l'état de décomposition d'un cadavre (Myskowiak *et al.*, 1999). Pour Leccese (2004), l'entomologie forensique est l'étude des insectes associés à un cadavre humain durant une investigation légale. Selon Hall & Huntington (2010), l'entomologie médico-légale étudie le rôle des insectes et autres arthropodes dans les questions judiciaires et cherche ainsi à appliquer une vaste quantité de connaissances scientifiques sur les insectes, leur répartition et leur développement pour résoudre un crime. En fin de compte, l'entomologie médico-légale aide les systèmes juridiques et judiciaires et fournit un secours aux familles et aux sociétés.

Les arthropodes nécrophages sont d'un grand intérêt en sciences forensiques, puisqu'ils interviennent lorsque les anatomo-pathologistes ne peuvent plus fournir des informations détaillées sur les causes d'un décès, parce que l'examen est réalisé plus de soixante-douze heures après la mort (Varatharajan & Sen, 2000; Adams & Hall, 2003; Mansfield, 2003; Wyss & Cherix, 2006). Dans de telles situations, les résultats de l'examen pathologique sont limités et biaisés par l'état de décomposition. L'entomologie forensique permet non seulement d'estimer l'Intervalle Post Mortem (IPM), mais également de déterminer les conditions ayant entraîné la mort et de situer le lieu du décès (Catts, 1992). Cette détermination du délai post-mortem (DPM) est basée sur deux principes majeurs: d'une part l'étude

de la succession prédictible des insectes et, d'autre part, l'analyse des cycles de développement des différentes espèces qui se sont succédées sur cette dépouille (Merritt *et al.*, 2000). Pour cela, il est important d'identifier tous les spécimens adultes jusqu'au niveau de l'espèce. Quant aux larves, il est commode de les élever jusqu'à l'émergence des adultes (Feugang Youmessi, 2014). Enfin pour confirmer les résultats, la réalisation d'un cryptogramme du polymorphisme amplifié aléatoire d'ADN peut soutenir les analyses morphologiques et médico-légales classiques des larves récoltées sur un cadavre (Benecke, 1998). L'entomologie forensique peut également permettre de savoir si des drogues ont été impliquées dans une mort (Lerner & Lerner, 2006; Wyss & Cherix, 2006). L'examen des tissus des mouches nécrophages ayant consommé cette dépouille est alors nécessaire (Bourel *et al.*, 2001; Kharbouche *et al.*, 2008). Selon Merritt *et al.* (2000) et Mansfield (2003), une analyse toxicologique des larves et des chrysalides peut montrer les traces d'oligoéléments toxiques et de drogues (organophosphorés, cocaïne) lorsque les échantillons de sang et de tissus du cadavre ne sont plus disponibles. C'est l'entomotoxicologie qui est l'utilisation des données obtenues de l'étude des insectes dans la détection des drogues et autres substances chimiques présentes dans les tissus en décomposition (Magni *et al.*, 2014). En plus de l'intervalle post mortem, l'entomologie forensique offre d'autres avantages, par exemple, la possibilité de déterminer la durée pendant laquelle un enfant ou un vieillard a été négligé ou maltraité (Benecke & Lessig, 2001). Cette négligence est démontrée par la présence des larves de Diptères qui ont pénétré dans les orifices naturelles d'une personne encore vivante (Merritt *et al.*, 2000). De même, la présence de certaines espèces d'insectes sur une dépouille peut renseigner sur le lieu de la mort en se basant sur la notion d'endémisme des organismes. En effet, si une espèce retrouvée sur un macchabée n'est pas originaire de l'endroit où ce dernier est trouvé, cette présence peut indiquer que le cadavre a été déplacé après la mort (Lerner & Lerner, 2006).

I.2 Groupes zoologiques d'arthropodes inféodés aux carcasses

Les insectes sont généralement les premiers organismes à arriver sur un corps peu après la mort; ils le colonisent selon une séquence plus ou moins prédictible (Anderson, 2001; Michaud & Moreau, 2009). En effet, ils 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 sarcophages sont parfaitement adaptés à la détection de cadavres humains ou d'animaux. La décomposition d'un tel corps entraîne des changements physiques et biochimiques importants; celui-ci émet des odeurs plus ou moins attractives pour certaines espèces (Anderson, 2001; Dekeirsschieter *et al.*, 2009; Verheggen *et al.*, 2017; Martin *et al.*, 2019; Minchilli, 2020). Les insectes nécrophages recensés sur les cadavres arrivent le plus souvent suivant un ordre chronologique: les Diptères, les Coléoptères, les Hyménoptères et les Lépidoptères (Wyss & Cherix, 2006). Toutefois, les plus fréquents sont les Diptères

et les Coléoptères (Boulay *et al.*, 2012 ; Feugang Youmessi, 2012; Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b).

I.2.1 Diptères

Un corps nouvellement décédé attire en premier lieu les Diptères qui sont les insectes les plus fréquents et les plus étudiés dans le cadre de la datation d'une carcasse; ils ont un cycle de développement holométabole, c'est-à-dire à métamorphose complète ou brusque (Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b). Pendant les premières minutes post-mortem, les dépouilles sont colonisées par des mouches qui y pondent des œufs dans les orifices naturels tels que les yeux, le nez, la bouche, ou les blessures ouvertes et l'orifice anal. Ces œufs éclosent en larves qui s'alimentent des tissus en décomposition (Feugang Youmessi, 2012; Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b). Une fois leur croissance achevée, au bout de six à dix jours post mortem, ces larves migrent dans le sol où elles se transforment en pupes, d'où émergeront des individus adultes. Parmi les Diptères on peut citer plusieurs familles.

Les **Calliphoridae** en général et particulièrement les mouches du genre *Calliphora*. Ces dernières sont grosses (4 à 16 mm) avec des couleurs métalliques bleues (mouches bleues de la viande: *Calliphora vomitoria* et *Calliphora vicina*) ou vertes (*Lucilia* spp.). Les Calliphoridae femelles recherchent les cadavres frais pour y pondre une dizaine à plusieurs centaines d'œufs (Anderson, 2001; Amendt *et al.*, 2004; Gennard, 2007; Slone & Gruner, 2007; Feugang Youmessi, 2012; Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b).

Les **Muscidae** ont une taille qui varie entre 2 et 18 mm. De coloration variable, terne, jaune orange au gris, brune ou noire, parfois avec des reflets métalliques bleus ou verts, ils ont un corps hérissé de macrochètes. Selon les espèces, on retrouve leurs larves sur différents substrats tels que du bois mort, la litière, le milieu aquatique, les nids d'Hyménoptères (Wyss & Cherix, 2006; Feugang Youmessi, 2012; Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b).

Les **Fanniidae** sont des mouches dont la taille varie entre 4 à 9 mm; ils sont habituellement gris foncé à noir, parfois avec des taches jaunes sur l'abdomen. Ils sont saprophages (Wyss & Cherix, 2006; Feugang Youmessi, 2012; Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b).

Les **Sarcophagidae** sont des mouches trapues qui ont une taille comprise entre 2 et 22 mm de longueur; ils sont aisément reconnaissables par la présence d'un motif en damier (bandes ou tâches grisées) sur le thorax et par l'absence de coloration métallique (Wyss & Cherix, 2006; Feugang Youmessi, 2012; Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b).

Les **Piophilidae** sont des Diptères de petite taille, 2,5 à 6 mm, de couleur sombre mate ou brillante (Wyss et Cherix, 2006; Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b). Les larves des piophilides ont un comportement caractéristique, on parle de larves sauteuses.

Les **Phoridae** sont des Diptères de petite taille, 1,5 à 6 mm, de couleur brune, noire ou jaune (Wyss & Cherix, 2006). Contrairement à beaucoup d'autres espèces de Diptères, les Phoridae sont capables de coloniser les corps inhumés (Leclercq & Verstraeten, 1993; Bourel *et al.*, 2004). Leurs adultes se trouvent sur les fleurs où ils se nourrissent de nectar et de miellat; ils peuvent parfois former des essaims et faire des allers et retours en creusant des galeries d'une cinquantaine de centimètres pour se nourrir sur une dépouille enterrée (Benecke, 2002).

I.2.2 Coléoptères

La charogne, ou matière animale morte, représente une source de nourriture temporaire et changeante pour des communautés variées et distinctes d'organismes. Bien qu'il y ait au moins autant d'espèces de Coléoptères nécrophages que de Diptères nécrophages recensées au sein de l'écosystème-cadavre, les insectes et les Coléoptères en particulier sont les principaux composants de ces communautés et constituent un élément essentiel du processus de décomposition (Dekeirsschieter *et al.*, 2012 et 2013). La spécialisation est une conséquence de la nature éphémère et de la répartition inégale des restes d'animaux (Hanski, 1987 et 1990) et de la chimie alimentaire des animaux nécrophages comme les Coléoptères. Ces derniers forment l'un des principaux ordres d'insectes que l'on retrouve sur des carcasses; leur importance légale est fréquemment démontrée (Kulshrestha & Satpathy, 2001 ; Dekeirsschieter *et al.*, 2008, 2012, 2013 et 2014 ; Zanetti *et al.*, 2014). Les familles régulièrement rencontrées sur les dépouilles sont : les Dermestidae, les Silphidae, les Staphylinidae, les Histeridae et les Cleridae (Wyss & Cherix, 2006; Feugang Youmessi, 2012; Dekeirsschieter *et al.*, 2013; Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b).

Les **Dermestidae** ont une taille moyenne comprise entre 2 à 4 mm; les plus grands spécimens atteignent 12 mm. Les adultes se nourrissent de nectar ou de pollen mais peuvent aussi s'alimenter des débris organiques animaux ou végétaux. Leurs larves sont assez typiques parce que toutes recouvertes de poils. Certaines espèces sont des ravageurs importants du cuir, du fromage et des produits stockés; d'autres s'attaquent aux fourrures et aux collections entomologiques. Seules les espèces du genre *Dermes* sont retrouvées sur les cadavres, principalement lorsque les tissus sont desséchés (Wyss & Cherix, 2006; Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b).

Les **Silphidae** regroupent des espèces de taille moyenne (5 à 8mm) ou grande, utiles dans les écosystèmes forestiers et agricoles. Ces espèces interviennent dans les cycles du carbone et de l'azote en

se nourrissant de cadavres; elles participent ainsi, avec les micro-organismes et les champignons, à la transformation des matières inertes mortes en matière humique (Wyss & Cherix, 2006; Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b).

Les **Staphylinidae** se distinguent de la majorité des autres Coléoptères par la brièveté de leurs élytres, qui ne couvrent généralement que les deux premiers segments abdominaux. Ils vivent dans les substances et les lieux divers tels que le fumier, les détritiques, les champignons; ils peuvent atteindre 17 mm de longueur et sont, le plus souvent, prédateurs des espèces nécrophages, notamment des Diptères (Wyss & Cherix, 2006). Leur importance en entomologie forensique a été prouvée (Dekeirsschieter *et al.*, 2013).

Les **Histeridae** sont de petits Coléoptères de moins de 10 mm de longueur, souvent noirs et brillants, de forme ovoïde; ils sont recensés dans les excréments et sur les cadavres en décomposition avancée (Wyss & Cherix, 2006; Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b). De nombreuses espèces sont associées au bois (mort ou déperissant) ou à une végétation en voie de décomposition (litière). Ils peuvent parfois réduire significativement le nombre de larves de diptères nécrophages sur un cadavre.

Les **Cleridae** sont velus, avec des couleurs souvent vives. Les larves de nombreuses espèces se nourrissent d'insectes xylophages. Certains taxons, mesurant entre 3 et 6 mm de longueur, sont saprophages et prédateurs; on les retrouve parfois sur du poisson séché, la peau et les os d'animaux morts, et sur les cadavres à différents états de la décomposition, mais le plus souvent à partir de quelques semaines (Wyss & Cherix, 2006; Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b). Les adultes et les larves sont aussi prédateurs d'œufs et de larves de diptères nécrophages.

I.2.3 Hyménoptères

La plupart des Hyménoptères adultes se nourrissent de liquides bien que les abeilles et quelques guêpes puissent également s'alimenter de carcasses, de liquides cadavériques et de pollen (Silveira *et al.*, 2005). Une carcasse représente une source supplémentaire de protéines pour d'autres espèces qui les cherchent dans la nature (Moretti & Ribeiro, 2006; Gomes *et al.*, 2007b). Certaines espèces d'Hyménoptères, notamment les guêpes, les bourdons, les fourmis velours et les frelons, possèdent un aiguillon formé par les segments abdominaux terminaux modifiés. Grâce à cette structure, les fourmis sont capables d'injecter du venin produit dans leurs glandes à venin (Hölldobler & Wilson, 1990). Par contre quelques fourmis utilisent un appareil situé dans de petites poches à glandes pour envoyer des messages chimiques aux membres de leur nid ou pour produire des phéromones de piste (Hölldobler & Wilson, 1990); la plupart d'entre elles s'en servent pour chasser une proie ou pour se défendre. Les fourmis sont une composante importante et omniprésente de la faune des insectes dans tous les habitats terrestres, à l'exception des pôles, avec environ 140 millions d'années d'histoire évolutive (Moreau & Bell, 2013). Il

existe actuellement plus de 13 000 espèces de fourmis reconnues dans le monde (Bolton, 2014). Elles jouent un rôle écologique crucial en tant que prédateurs, ingénieurs du sol, disperseurs de graines, symbiotes de plantes, cycleurs de nutriments, etc. (Del Toro *et al.*, 2012). Dans les forêts tropicales, les fourmis représentent, avec les termites, une proportion majeure (soit 30%) de la biomasse animale (Fittkau & Klinge, 1973). Au niveau du sol, il est possible d'avoir des densités de l'ordre de 23 nids par mètre carré (Kaspari, 1996). Traditionnellement, les fourmis étaient considérées comme des acteurs mineurs dans les études de police scientifique, bien après les mouches et les Coléoptères (Byrd & Castner, 2010). Elles jouent pourtant un rôle important dans les études médico-légales.

Etant des prédateurs supérieurs dans les environnements de litière, leurs activités peuvent affecter les processus de décomposition. Les fourmis causent des artéfacts sur les dépouilles (par exemple elles mordent, piquent et modifient les schémas sanguins) et influencent l'estimation de l'intervalle post mortem (Ramón & Donoso, 2015). Les Formicidae étant un élément important de la biodiversité des insectes, leur étude pourrait aider les entomologistes légistes à résoudre des affaires pénales.

I.2.3.1 Hyménoptères et processus de décomposition

À l'échelle macroscopique, la décomposition de la matière organique peut dépendre de la température et des précipitations (Archer, 2004; Chapin *et al.*, 2011). Cependant, à l'échelle locale, les différences dans la décomposition de la matière organique sont dues à la qualité du substrat, du sol par exemple, à la qualité du matériel (le matériel végétal se décompose beaucoup plus vite) et à la communauté des décomposeurs que sont les bactéries, les champignons et autres microorganismes de la litière (Chapin *et al.*, 2011). En général, dans la couche de litière foliaire les fourmis jouent le rôle de prédateurs d'autres arthropodes (Wilson, 2005). Il est bien connu qu'une carcasse peut jouer un rôle important dans l'alimentation des guêpes sociales (Silveira *et al.*, 2005); ainsi en plus d'être des prédateurs, ces dernières sont nécrophages (Moretti *et al.*, 2011). Néanmoins, peu d'études sur les insectes associés aux carcasses de vertébrés ont porté sur ce dernier groupe (Gomes *et al.*, 2007a, b; Moretti *et al.*, 2008; Noll & Gomes, 2009; Delsinne *et al.*, 2013). En tant que prédateurs, leurs adultes nourrissent leurs larves avec des mouches adultes, principalement des Calliphoridae et Muscidae, présentes sur des carcasses; ils régulent ainsi les populations de mouches et entraînent un retard du processus de décomposition (Wells & Greenberg, 1994). En tant que nécrophages, les guêpes sociales se nourrissent non seulement des tissus des carcasses mais peuvent également produire des trous ou des abrasions susceptibles d'attirer d'autres types d'insectes nécrophages, accélérant ainsi le processus de décomposition (Barbosa *et al.*, 2015).

Il est connu que les fourmis (Formicidae) et les guêpes (Vespidae) peuvent d'une part limiter le taux de décomposition d'une carcasse en prédatant les arthropodes (larves et adultes de Diptères) qui y sont présents et, d'autre part, modifier la composition de la communauté microbienne (Del Toro *et al.*, 2012;

Wardle *et al.*, 2011; Moretti *et al.*, 2011). Il est communément admis que c'est plutôt les arthropodes qui colonisent les cadavres qui attirent les fourmis et non les cadavres eux-mêmes (Campobasso *et al.*, 2009). Cette affirmation est principalement fondée sur des observations en régions tempérées et, à quelques exceptions près, dans les écosystèmes tropicaux (Valdes-Perezgasga *et al.*, 2010) où les fourmis sont attirées par les œufs, les larves et les nymphes présents sur les cadavres, et non par la chair elle-même (Campobasso *et al.*, 2009; Barros *et al.*, 2008). Toutefois, les fourmis, *Cephalotes atratus* Linnaeus, 1758 et *Crematogaster* sp., ont été observées coupant et transportant des tissus cutanés et musculaires d'une carcasse expérimentale fraîche de porc déposée dans le parc national Yasuní de la province d'Orellana en Équateur (Prado e Castro *et al.*, 2014).

I.2.3.2 Interactions entre fourmis et autres arthropodes autour des dépouilles

Dans certains cas, le taux de prédation des mouches, des Coléoptères et de leurs œufs par les fourmis peut être si important qu'il retarde l'apparition des colonisateurs initiaux des dépouilles jusqu'à trois jours (Byrd & Castner, 2010). Barros *et al.* (2008) ont observé les fourmis des genres *Pheidole* et *Camponotus* (largement répandues en Équateur et ailleurs) en train de prélever des œufs de mouches, des larves et des nymphes sur des carcasses de porcs. Toujours en Équateur, ces derniers suscités ont noté, à maintes reprises, que des fourmis légionnaires Dorylinae investissent des porcs en décomposition et y enlèvent à la fois les restes de leurs cadavres et les larves de mouches présentes.

Les fourmis sont parfois capables d'établir leurs colonies sur des corps en décomposition (Ramón & Donoso, 2015). En tant qu'insectes sociaux, ces colonies passent globalement par des stades de développement dans lesquels le nombre et la proportion des castes varient; en général, quand une colonie atteint une certaine taille, elle commence à produire des castes sexuelles (Peeters & Molet, 2010). Lorsque le temps de développement d'une espèce de fourmi donnée est connu, il est possible d'estimer l'intervalle post mortem en fonction de la durée nécessaire pour établir une colonie ou pour produire certaines castes. Par exemple sur la base de la présence d'une colonie d'*Anoplolepis gracilipes* à l'intérieur d'une boîte à outils où des restes humains ont été découverts, l'IPM a été estimé entre 14 et 18 mois (Goff & Win, 1997).

I.2.3.3 Artéfacts causés par les Hyménoptères sur des corps en décomposition

L'origine et l'âge des blessures observées sur une dépouille sont des critères importants de diagnostic lors des analyses forensiques (Patel, 1994; Asamura *et al.*, 2004; Barbosa *et al.*, 2015); ces blessures constituent des sites de nidification pour certains arthropodes comme les Hyménoptères (Moretti *et al.*, 2011). Plusieurs blessures peuvent causer différents artéfacts qui méritent l'attention du médecin légiste lors de l'évaluation des carcasses, que ce soit sur les lieux du crime ou lors d'une autopsie (Ohshima, 2000; Gomes *et al.*, 2007b). Les fourmis, par leurs piqûres, peuvent infliger des marques sur

une dépouille et donner preuve lors d'une enquête médico-légale (Moretti *et al.*, 2013; Barbosa *et al.*, 2015; Ramón & Donoso, 2015; Wachkoo & Bharti, 2015). C'est le cas des fourmis de feu du genre *Solenopsis* telles que *S. invicta*, *S. richteri*, *S. geminata* (Lindgren *et al.*, 2011) et *S. saevissima* (Pareira *et al.*, 2017). Au Texas, par exemple, *S. invicta* a infligé des blessures sur la région abdominale d'un corps humain partiellement enterré, empêchant ainsi à d'autres insectes de l'atteindre. Neuf jours plus tard, d'autres insectes capables de coloniser le cadavre ont poursuivi le processus de décomposition habituel. Dans de telles circonstances, l'estimation de l'indice post mortem basé uniquement sur l'activité de la mouche aurait été considérablement asymétrique (Lindgren *et al.*, 2011). Barros *et al.* (2008) ont constaté que les espèces des genres *Pheidole* et *Camponotus* infligent des dommages importants aux niveaux du nez et des oreilles des carcasses de porcs; c'est aussi le cas avec *Agelaia pallipes* (O'Donnell, 1995; Gomes *et al.*, 2007 a,b; Moretti *et al.*, 2008) et *A. fulvofasciata* (Moretti *et al.*, 2011; Barbosa *et al.*, 2015). De même, dans une étude sur la décomposition des cadavres de rats menée au Brésil, de petites blessures dues aux fourmis ont été détectées à chaque stade de décomposition sur différentes parties du corps (Moura *et al.*, 1997). Ces lésions peuvent être confondues à des blessures pre-mortem. Campobasso *et al.* (2009) ont produit une revue complète des principaux artefacts causés par les fourmis sur les corps en décomposition. En l'absence d'un examen attentif de ces marques, les enquêteurs peuvent être induits en erreur sur la cause du décès.

Les fourmis, par exemple les fourmis de feu, peuvent également influencer le processus de décomposition en enterrant entièrement ou partiellement un corps (Ramón & Donoso, 2015; Go, 2018). C'est ainsi que Moura *et al.* (1997) ont noté qu'au Brésil, la tête et la région anale d'un rat en décomposition étaient ensevelies par des fourmis, empêchant ainsi l'accès des mouches. Les fourmis peuvent aussi rendre difficile l'interprétation des événements sur un lieu de crime en modifiant les schémas de taches de sang ou en déplaçant le sang vers de nouveaux endroits (Ramón & Donoso, 2015).

I.2.3.4 Détermination du lieu du décès

Les espèces d'Hyménoptères trouvées à l'intérieur d'une dépouille et qui ne correspondent pas à la faune d'insectes habituelle de la zone considérée peuvent indiquer que le corps a été déplacé du lieu de crime. A partir de l'étude de la distribution géographique des insectes, il est possible de reconnaître le site à partir duquel ce corps a été déplacé. En Malaisie, Chen *et al.* (2014) ont récemment constaté que la distribution des fourmis trouvées dans les restes d'un singe ne correspondait pas à celle des fourmis autochtones; ils en ont conclu qu'une telle étude était utile pour déterminer le lieu de la mort. Au Cameroun, la composition des myrmécofaunes de diverses localités est relativement bien documentée. C'est le cas dans les vergers forestiers de Nkolbisson et d'Oboa dans le Centre (Jueya *et al.*, 2019), dans le Sud (Ondoua *et al.*, 2016), dans les vergers de Douala (Djiéto-Lordon, 2004; Mony *et al.*, 2009; Dibong

et al., 2012; Ladoh Yemeda *et al.*, 2013). Il en est de même dans les Néotropes, par exemple en Équateur, de la composition d'une communauté de fourmis dans une forêt prémontane (Ramón *et al.*, 2013; Donoso & Ramón, 2009), dans une forêt amazonienne (Mertl *et al.*, 2010; Ryder Wilkie *et al.*, 2010) et dans les forêts de montagnes des provinces du sud (Delsinne *et al.*, 2013; Jacquemin *et al.*, 2012). Ces connaissances pourraient aider les enquêteurs spécialistes des sciences judiciaires à résoudre des affaires pénales en cas de déplacement d'un cadavre du lieu du décès.

Traditionnellement, les mouches (Hassane Dao *et al.*, 2019a, b) et les Coléoptères (Dekeirsschieter *et al.*, 2011) ont été utilisés pour établir l'IPM; toutefois la question qui émerge de cette pratique est celle de savoir si les fourmis qui établissent leurs colonies sur/dans des cadavres ne peuvent pas aussi être utilisées à cette fin, en déterminant le nombre d'individus dans chaque caste ou en observant la production d'individus sexuels.

I.3 Groupes écologiques des arthropodes inféodés à une carcasse

La nécro-entomofaune est constituée d'un certain nombre d'insectes qui colonisent successivement leur dépouille en fonction de son état de décomposition (Manish & Devinder, 2015). Ces insectes utilisent le micro-habitat créé par le cadavre comme un substrat nourricier, un site de ponte (reproduction), un refuge ou encore un territoire de chasse (Lane, 1975). En fonction de leurs caractéristiques écologiques, on rencontre quatre groupes écologiques autour d'un cadavre (Wyss & 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). Ainsi, chronologiquement, plusieurs vagues d'insectes se succèdent sur un cadavre à savoir: les insectes nécrophages, les insectes nécrophiles, les insectes opportunistes et les insectes omnivores. Il s'agit principalement des Diptères (Calliphoridae, Muscidae, Sarcophagidae, Fanniidae, Piophilidae et Phoridae), des Coléoptères (Dermestidae, Silphidae, Cleridae et Nitidulidae) et des Lépidoptères du genre *Aglossa* (Mougeat, 2012). Grâce à leurs puissants chimiorécepteurs présents au niveau des antennes, ils peuvent détecter l'odeur d'un cadavre frais quelques minutes seulement après le décès, voire parfois au moment de l'agonie et ce à plusieurs kilomètres; ils se nourrissent du substrat pour assurer leur croissance et la subsistance de leurs larves (Wyss & Cherix, 2006; Matuszewski *et al.*, 2011; Charabidze, 2012; Lavinia & Corneliu, 2013; Eduardo *et al.*, 2014, Xiaoying *et al.*, 2014).

I.3.1 Espèces nécrophages

Les espèces de ce groupe se nourrissent directement des tissus cadavériques et plus spécifiquement des liquides. Elles sont le plus souvent responsables de la fragmentation ou de la dégradation de la matière organique du substrat mort d'origine animale, entraînant ainsi les différents états de décomposition observés dans le temps. On peut citer dans cette catégorie les larves et les adultes de Diptères (Calliphoridae, des Sarcophagidae, des Muscidae, des Fanniidae, des Piophilidae, des Stratiomyidae, des

Syrphidae, des Sepsidae, des Sciaridae, des Sphaeroceridae...), mais également des Coléoptères (Silphidae, des Dermestidae...) (Matuszewski *et al.*, 2011).

I.3.2 Espèces nécrophiles

Il s'agit des espèces prédatrices ou parasites des espèces nécrophages; ce sont principalement des larves et des pupes de Diptères. Dans ce groupe on cite régulièrement les Coléoptères (Cleridae, Silphidae, Histeridae, Staphylinidae), les Diptères (Calliphoridae, Phoridae et Stratiomyidae), les Acariens ainsi que les Hyménoptères (Campobasso *et al.*, 2001; Wyss & Cherix 2006). Les larves de certains Diptères peuvent devenir prédatrices à partir d'un certain stade de développement. C'est le cas, par exemple, des larves de stade III des Muscidae du genre *Muscina* (Gaudry, 2002) et de certains *Chrysomya* (Calliphoridae).

I.3.3 Espèces omnivores

Ces taxa se nourrissent tant du cadavre que des espèces dites nécrophages et nécrophiles présentes sur la dépouille. Les principales espèces omnivores sont généralement des Hyménoptères (fourmis et guêpes) et des Coléoptères (Dekeirsschieter, 2012).

I.3.4 Espèces opportunistes

Les opportunistes perçoivent la présence du cadavre comme une extension de leur habitat. Ils l'utilisent comme une annexe de leur biotope pour s'abriter, se réchauffer, hiberner et parfois pour se nourrir (Leclercq & Verstraeten, 1993). Ces espèces originaires de la végétation environnante ou de la pédofaune peuvent exceptionnellement être prédatrices des nécrophages (Campobasso *et al.*, 2001). Il s'agit des Collembolés, des Araneides, des Myriapodes, des Lépidoptères mais aussi des Acariens qui se nourrissent des moisissures et des champignons se développant sur le corps en décomposition (Campobasso *et al.*, 2001 ; Wyss & Cherix, 2006).

I.4 Cycle de développement des arthropodes nécrophages

Le cycle de développement de la plupart des arthropodes nécrophages est holométabolique, c'est-à-dire à métamorphose complète ou brusque: ici la larve est différente de l'adulte (figure 1). Lorsque les conditions climatiques sont favorables, les arthropodes nécrophages parmi lesquels on peut citer les Diptères Calliphoridae colonisent les dépouilles très rapidement après le décès (Kelling *et al.*, 2003; Peeters & Molet, 2010; Khoobdel & Davari, 2011). Y étant, les femelles pondent des grappes d'œufs au niveau des orifices naturels (Wooldridge *et al.*, 2007; Amendt *et al.*, 2008). Ces œufs éclosent en larves qui se développent sur le corps, celles-ci s'en éloignent ensuite après un certains temps pour s'empurger dans les horizons supérieurs du sol (Archer & Elgar, 2003; Slone & Gruner, 2007; Singh & Bharti, 2008; Charabidze *et al.*, 2011; Cook & Dadour, 2011; Johnson *et al.*, 2012). Il est fréquent d'observer des larves

de Coléoptères Dermestidae et des Coléoptères sarco-saprophiles, appartenant aux genres *Necrophorus*, *Necrodes*, *Thanatophilus*, *Silpha*, *Saprinus* et *Hister*, à l'intérieur et à l'extérieur des carcasses à divers stades de décomposition (Schroeder *et al.*, 2002; Halffter *et al.*, 2007; Midgley & Villet, 2008; Ozdemir & Sert, 2009; Velasquez & Vilorio, 2009; Ikeda *et al.*, 2010; Dekeirsschieter *et al.*, 2011; Bugajski *et al.*, 2011; Matuszewski, 2011 ; 2012).

- Cas des Diptères Calliphoridae

La température a une influence importante sur chaque stade de développement des insectes. On observe ainsi que plus il fait chaud, plus le développement est rapide et réciproquement. Ce phénomène n'est cependant vérifié que dans une certaine plage de valeurs : en dessous d'une température minimum, les insectes ne se développent plus et n'ont aucune activité. Lorsque la température devient trop élevée, la vitesse de développement baisse et s'accompagne d'une augmentation importante de la mortalité qui peut devenir totale (Marchenko, 2001). Rappelons que les Diptères nécrophages sont très rapidement attirés par un cadavre; les Calliphoridae y arrivent les premiers suivis de près par les Sarcophagidae (Anderson, 2001). Chez ces organismes, on distingue les stades de croissance suivants : l'œuf, les trois stades larvaires (L1, L2, L3), les larves migrantes (stade pré-pupal), la puppe (ou nymphe), enfin l'adulte encore appelé imago ou insecte parfait (figure 1). Les Diptères sont ovipares, pondent à proximité des orifices naturels (nez, bouche, anus, organes génitaux), dans les plis cutanés, au niveau des plaies car le sang, même coagulé, est un élément très attractif (Amendt *et al.*, 2004; Wyss & Cherix, 2006; Gennard, 2007). Leurs larves de premier stade (L1) ont besoin d'un substrat protéique liquide pour se nourrir puisqu'elles sont incapables de percer la peau. Les larves de deuxième stade (L2) sont munies de crochets buccaux et peuvent sécréter des enzymes protéolytiques leur permettant de perforer la peau (trous circulaires) et de progresser dans la colonisation du macchabée. Le troisième stade est le plus actif de tous et se nourrit abondamment des tissus en décomposition. Après le stade III, les larves cessent de s'alimenter et se dispersent en vue de leur métamorphose (Gomes *et al.*, 2006). Elles peuvent migrer à plusieurs mètres du corps et, soit elles s'enfoncent dans le sol (milieu naturel) entre 5 et 20 cm de profondeur, soit elles se dissimulent dans les vêtements, les tapis, les literies, sous les meubles, etc. (Turner, 2005; Gomes *et al.*, 2006; Wyss & Cherix, 2006).

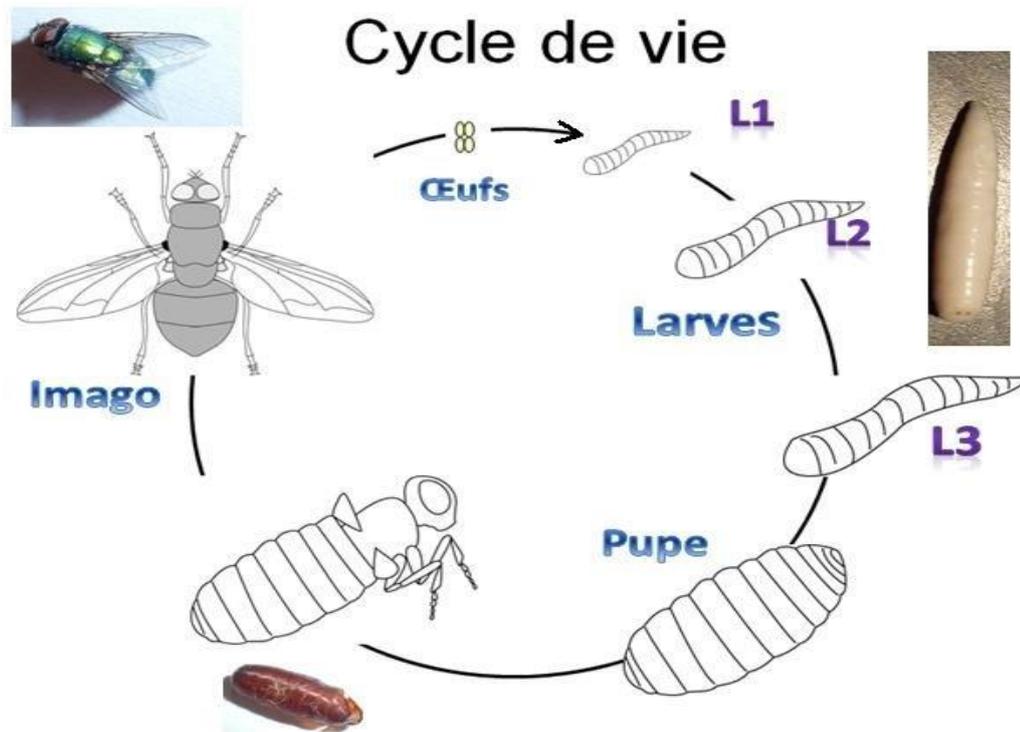


Figure 1: cycle de développement d'un Diptère d'après Lemonnier & Reguardati (2012).

Lemonnier & Reguardati (2012) reconnaissent aussi quatre grandes étapes dans le développement des Diptères: la ponte, la croissance larvaire, la phase pupale et la période imaginaire. La durée de ces différentes phases est fonction des conditions climatiques du milieu dans lequel ces insectes se trouvent.

Lors de la période larvaire, la larve passe successivement par trois stades séparés par des mues. Le premier stade larvaire est le plus court; il dure une quinzaine d'heures au maximum. Le deuxième stade larvaire est un peu plus long. Le troisième stade dure plusieurs jours. La détermination de l'âge larvaire tient compte de l'augmentation progressive de la taille totale du corps (longueur et poids) avec le temps. Une étude microscopique de la morphologie des pièces buccales larvaires et des stigmates postérieurs peut également donner des informations sur l'âge. Les larves ont une vitesse de croissance de 2mm/jour à la température de 20°C.

Lors de la pupaison, la cuticule de la larve se contracte puis se sclérifie en brunissant pour former la pupa ou puparium (enveloppe rigide protégeant la nymphe). La vitesse de la métamorphose est également proportionnelle à la température.

Le début de la période imaginaire est marqué par l'ouverture du puparium par le jeune imago. Rapidement, le corps augmente de volume par remplissage des sacs trachéens avec de l'air puis les ailes s'étalent. Les téguments durcissent et prennent leur teinte définitive. Dans les conditions optimales de

température et d'alimentation protéique, les femelles sont capables de pondre une semaine après leur émergence.

I.5- Etapes de décomposition d'une carcasse

La décomposition d'un corps humain débute quelques minutes seulement après le décès (Vass, 2001). C'est un processus physico-chimique complexe qui dépend à la fois des caractéristiques propres au corps, de son environnement et des facteurs climatiques. L'analyse de la séquence caractéristique conduisant à la dégradation intrinsèque d'un cadavre permet de mieux comprendre la variabilité spatiale et temporelle de ce milieu particulier. Les phases et les durées indiquées ci-après correspondent à un cadavre se dégradant en conditions standard (corps allongé sur le sol, température constante, corpulence moyenne, etc.); elles sont données à titre indicatif, le processus de décomposition étant susceptible de varier fortement suivant ces différents paramètres.

I.5.1 Etat frais

L'absence de l'oxygène entraîne une acidification du sang tandis que les enzymes cellulaires amorcent le processus d'autolyse des tissus. Parallèlement, la rigidité cadavérique survient habituellement dès trois à quatre heures après le décès (Dekeirsscheiter *et al.*, 2012; Koffi *et al.*, 2017; Hassane Dao *et al.*, 2019a).

I.5.2 Etat de gonflement

Les lividités caractéristiques induites par l'absence de circulation sanguine traduisent de profonds changements physico-chimiques. Ceci entraîne le développement d'une forte activité des micro-organismes, bactéries et champignons principalement, qui se multiplient dans les fluides corporels riches en nutriments. Leur activité conduit à la dégradation des molécules organiques complexes en gaz et en fragments protéiques élémentaires. Cette activité s'accompagne de l'apparition d'une coloration verdâtre, observable notamment au niveau de l'abdomen, et d'un gonflement de cette même région sous l'effet des gaz accumulés (Dekeirsscheiter *et al.*, 2010; Koffi *et al.*, 2018; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b).

I.5.3 Etat de putréfaction ou de décomposition active

L'absence de l'oxygène conduit à une activité de fermentation qui produit de l'acide butyrique et de l'acide propionique (Haglund & Sorg, 1997). Ces gaz finissent par s'échapper par les voies naturelles mais ils peuvent provoquer la rupture de l'abdomen, c'est le début de la phase de putréfaction. Elle se caractérise par la dégradation des muscles et la production d'acides gras volatils tels l'indole, le skatole, la putrescine, la cadavérine, etc. (Vass, 2001; Dekeirsschieter *et al.*, 2008). Ce processus peut s'accompagner de la formation d'une adipocérose due à la dégradation des tissus gras par une faune

bactérienne anaérobie, en particulier faite des espèces du genre *Clostridium* (Dent *et al.*, 2004). Cette phase est comparativement plus longue et sa durée varie en fonction des zones géographiques (quelques jours à quelques semaines).

I.5.4 Etat de putréfaction avancée ou de décomposition avancée

L'ensemble du processus de décomposition aboutit à une momification plus ou moins complète du corps; les zones les plus riches en eau et les plus fragiles sont décomposées tandis que la peau se déshydrate et se rétracte. La momification est d'autant plus importante et rapide que l'environnement du corps est sec et chaud (Bourel *et al.*, 2001; Tibbett *et al.*, 2004; Carter & Tibbett, 2006).

I.5.5 Etat squelette

La décomposition des os et de la peau devenue parcheminée est extrêmement lente; il s'agit d'un processus de minéralisation qui conduit à la substitution d'éléments minéraux aux éléments organiques initialement présents. Ce processus peut s'étendre sur plusieurs années; il est accentué par l'action du climat (choc thermique, gel) qui permet d'accélérer la fragmentation des restes du corps. En effet, selon les caractéristiques propres du cadavre et les conditions environnementales, notamment la température et l'intervention d'autres facteurs tels que les insectes, certaines phases de la décomposition seront plus ou moins longues, voire inexistantes (Dent *et al.*, 2004; Megyesi *et al.*, 2005). De plus, les phénomènes impliqués dans la décomposition cadavérique diffèrent selon que le corps est immergé (Barrios & Wolf, 2011), enfoui (Turner & Wiltshire, 1999) ou brûlé (Haglund & Sorg, 1997); enfin les critères qui permettent de définir une phase de décomposition varient avec l'âge, l'aspect, les espèces d'insectes qu'on y rencontrent, les gaz dégagés par les carcasses, etc.

Si la caractérisation des différentes étapes de la décomposition cadavérique s'avère être un outil pratique et efficace, elle n'en reste pas moins une simplification importante de la multitude des processus biologiques et chimiques qui agissent (Charabidze, 2008). L'ensemble de ces états de dégradation sont très utilisés dans le cadre de la médecine légale pour estimer l'heure du décès.

I.6 Estimation de l'intervalle post-mortem par les méthodes entomologiques

I.6.1 Définition

L'intervalle post-mortem (IPM) est le temps écoulé depuis le décès jusqu'au moment où le corps est découvert. Il peut être établi grâce à une étude sémiologique de critères thanatologiques comme l'évolution de la rigidité et de la lividité cadavériques (rigor and livor mortis), de la thermométrie et de la déshydratation du corps (Anderson, 2001 ; Benecke, 2004).

I.6.2 Méthodes de datation entomologique

Les mouches sont fréquemment utilisées pour estimer l'intervalle post-mortem généralement sur la base de l'âge des spécimens larvaires ou nymphaux (Matuszewski *et al.*, 2014). Cependant, cet âge ne définit que l'IPM minimum. Dans la littérature, deux méthodes permettent de déterminer l'intervalle post-mortem en utilisant les insectes comme bioindicateurs (Swift, 2006; Wyss & Cherix, 2006; Amendt *et al.*, 2007).

La première méthode de datation entomologique considère l'âge des premiers insectes Diptères, Calliphoridae et Sarcophagidae qui colonisent un cadavre. Cette méthode établit un intervalle post-mortem dit court, de quelques jours à quelques semaines pour autant qu'une seule génération d'insectes a colonisé le corps. Pour être correcte, elle doit tenir compte de nombreux facteurs tels que l'accessibilité du corps aux insectes dès le décès et les conditions climatiques favorables à l'activité des mouches. En effet, on part du postulat que si les mouches ont accès au cadavre, le jour des premières pontes correspondra au jour du décès.

La deuxième méthode est celle d'une datation à plus long terme; elle s'appuie sur la reconstitution des successions entomologiques pour déterminer l'IPM lorsque plusieurs générations d'insectes ont colonisé le corps. Cette méthode, fondée sur la théorie des escouades, est peu précise et est à utiliser avec précaution (Wyss & Cherix, 2006). En effet, la succession chronologique des espèces d'insectes sur un cadavre n'est pas immuable. Le taux de décomposition d'un corps varie tout comme le cycle biologique d'un insecte; tous les deux sont fortement influencés par les conditions climatiques locales.

I.6.2.1 Détermination de l'intervalle post-mortem court

*** Datation des larves**

De nombreuses méthodes existent pour calculer l'âge des larves de Diptères Calliphoridés (Day & Wallman, 2006); elles sont toutes basées sur le même principe que le taux de développement de l'insecte est fonction de la température ambiante (Amendt *et al.*, 2004). Nous nous en tiendrons à trois approches : la technique de Marchenko, les mesures biométriques sur les stades immatures (larves) et le calcul de l'IPM sur le cycle de développement complet de l'œuf à l'adulte émergeant.

**** Technique de Marchenko**

La technique de Marchenko stipule que pour chaque espèce de mouche, une valeur C, correspondant à un cumul thermique total nécessaire au développement de l'œuf à l'émergence ou de l'œuf à la pupaison, peut être déterminée expérimentalement. La durée est définie à partir de la somme de degrés accumulés chaque jour (accumulation degree day ADD). La température effective prise en compte est égale à la

différence entre la température journalière moyenne et la température seuil x de l'espèce étudiée. En dessous de sa température seuil, cette espèce ne se développe pas (Tableau I).

Tableau I: caractéristiques du développement de quelques espèces de Calliphoridae (Marchenko, 2001)

Espèces	Seuil thermique inférieur de croissance en °C	Somme des températures (C) du cycle complet (ADD)	Somme des températures (C) de l'œuf à la puppe (ADD)
<i>Calliphora vicina</i>	2,0	388,0	191,0
<i>Calliphora vomitoria</i>	3,0	472,0	213,0
<i>Protophormia terranovae</i>	7,8	251,0	191,0
<i>Lucilia sericata</i>	9,0	207,0	-
<i>Chrysomya albiceps</i>	10,2	186,0	123,0
<i>Phormia regina</i>	11,4	148,0	101,0

ADD = somme (températures moyennes journalières - température seuil de développement).

La température effective change en fonction de l'espèce. Par exemple, on peut calculer le temps mis par une espèce pour passer de l'œuf à l'émergence si elle se trouve dans un milieu à une température moyenne de 16°C. S'il s'agit de *Calliphora vicina* le seuil inférieur de croissance est 2°C. S'il s'agit de *Lucilia sericata* le seuil inférieur de croissance est 9°C. Ainsi, la température effective est $16 - 2 = 14^{\circ}\text{C}$ pour *C. vicina* et $16 - 9 = 7^{\circ}\text{C}$ pour *L. sericata*. On additionne ensuite les températures effectives en remontant le temps, jusqu'à trouver la somme des températures du cycle complet nécessaire qui est de 388°C pour *C. vicina*, 186°C pour *L. sericata* et on obtient la date de la ponte.

** Mesures biométriques des larves

Les mesures biométriques utilisent un modèle de croissance linéaire des larves en fonction de la température afin de déterminer leur âge. On peut mesurer différents paramètres tels que la taille (longueur ou largeur) ou encore le poids des larves.

La longueur des larves est le paramètre biométrique le plus souvent utilisé (Wells & Lamotte, 1995; Von Zuben *et al.*, 1998). Elle est ensuite reportée dans un diagramme à 3 entrées appelé courbes de croissance, qui permet de déterminer rapidement l'âge de la larve pour autant qu'elle a été élevée à une température constante, ce qui peut être le cas lorsque le corps est trouvé à l'intérieur d'une maison. Toutefois, cette situation est rarement observée en conditions naturelles. Lorsque la température ambiante varie, il est encore possible de déterminer l'âge des larves en l'estimant entre l'intersection de la mesure et les courbes de croissance des températures minimales et maximales enregistrées (Grassberger & Reiter, 2001; Amendt *et al.*, 2007). Cette méthode peut être utilisée si les larves ne sont pas aux stades prépupal (larves migrantes) ou pupal pour lesquelles la longueur n'est plus un critère adapté d'estimation de leur

âge (Grassberger & Reiter, 2001). Dans ce cas, on se sert plutôt d'un diagramme dit isomorphe dans lequel sont reportés les courbes de croissance de tous les stades de développement des insectes.

Selon le même principe, on peut déterminer la largeur des larves (Myskowiak & Doums, 2002; Day & Wallman, 2006) qui est cependant moins souvent utilisée que la longueur.

Du fait qu'il existe également une bonne corrélation entre le poids des larves et leur âge (Wells & Lamotte, 1995; Myskowiak & Doums, 2002), on peut comparer les données obtenues sur le terrain à celles de référence.

Il est important de prendre de nombreuses précautions lors de l'utilisation des méthodes biométriques pour éviter d'introduire des biais dans l'estimation de l'âge des larves (Amendt *et al.*, 2007). La nature des solutions de préservation et leur titrage peuvent influencer sur les tissus larvaires et, par conséquent, modifier les mensurations des larves (Adams & Hall, 2003; Amendt *et al.*, 2007; Day & Wallman, 2008). Les méthodes biométriques offrent toutefois l'avantage de s'affranchir d'un élevage en laboratoire car on travaille généralement sur des échantillons morts (stades larvaires préalablement ébouillantés afin de mieux fixer leurs caractéristiques biométriques). Ce n'est pas le cas des méthodes fondées sur le cycle biologique complet des insectes (Gaudry *et al.*, 2007). Un inconvénient des mesures biométriques est la nature même de l'échantillon. En opérant sur des stades larvaires, on augmente les risques d'erreurs d'identification taxonomique de certains stades immatures (Gaudry *et al.*, 2007). Cependant, l'utilisation de cette méthode (longueur des larves) se justifie dans les cas où les échantillons entomologiques sont reçus au laboratoire dans une solution conservatrice (Adams & Hall, 2003).

** Durée du cycle de développement complet

Cette approche se base sur la durée du cycle de développement complet des espèces de Calliphoridae et de Sarcophagidae. Chaque mouche a besoin d'une certaine somme de températures pour boucler son cycle de développement complet de l'œuf à l'adulte émergeant; cette somme de températures dite constante de chaleur est spécifique. Cette méthode est connue sous le nom « d'accumulation degrés-jours » (ADJ); si on travaille sur une portion du cycle biologique, c'est l'« accumulation degrés-heures » (ADH). Elle ne se vérifie plus pour des températures extrêmes qui peuvent inhiber (léthargie) ou stopper la croissance des insectes. La valeur limite inférieure des températures est appelée température seuil minimum; elle est également propre à chaque espèce (Greenberg & Kunich, 2002; Amendt *et al.* 2004, 2007). Ces méthodes fournissent une estimation aussi précise que possible de l'IPM en se basant sur des échantillons vivants (Wyss & Cherix, 2006). De nombreuses expérimentations en laboratoire indiquent les constantes de chaleur propres aux principales espèces d'intérêt forensique (Anderson, 2001; Marchenko, 2001; Amendt *et al.*, 2007). Toutefois, compte tenu des variations qui peuvent exister entre

les populations d'une même espèce, il peut être opportun d'établir ses propres tables en fonction des températures régionales les plus représentatives (Wyss & Cherix, 2006; Amendt *et al.*, 2007).

Le jour des pontes correspond, en principe, au jour du décès auquel on ajoute une marge d'erreur de plus ou moins 24h si les conditions climatiques sont favorables (absence de pluie, luminosité adéquate, température suffisante) et si le cadavre est accessible aux insectes (Wyss & Cherix, 2006). Ces derniers ne pondent pas durant la nuit (Amendt *et al.*, 2008). Cependant certaines études ont montré que sous certaines conditions, on pourrait observer un phénomène d'oviposition nocturne (Baldrige *et al.*, 2006; Amendt *et al.*, 2008); on reste toujours dans l'étude d'un intervalle post-mortem minimum, la victime étant déjà décédée au moment des pontes, sauf dans certains cas exceptionnels de myiases ante mortem.

I.6.2.2 Intervalle post-mortem moyen et long

On doit aux travaux de Mégnin (1894) la première schématisation de la colonisation d'un cadavre en plein air ou inhumé en huit ou quatre vagues successives d'arthropodes nécrophages dites escouades. Ce modèle associe à chaque stade de décomposition du corps une espèce ou un groupe d'espèces d'arthropodes (Campobasso *et al.*, 2001; Koffi *et al.*, 2018; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b).

*** Corps à l'air libre**

Les escouades principales d'insectes et d'acariens qui se succèdent sur un cadavre ont été déterminées (Mégnin, 1894; Leclercq & Verstraeten, 1993; Wyss & Cherix, 2006; Dekeirsschieter *et al.*, 2008; 2010 ; 2011 ; 2012). La première escouade apparaît immédiatement après la mort, c'est-à-dire sur le cadavre frais alors qu'aucune odeur n'est encore perceptible pour l'homme. Il s'agit surtout de Calliphoridae des genres *Calliphora* (*C. vicina* Robineau-Desvoidy, 1830, *C. vomitoria* (Linnaeus, 1758), *Protophormia* (*P. terraenovae* Robineau-Desvoidy, 1830), *Lucilia*, *Phormia* mais aussi de Muscidae représentés par les genres *Musca* (*M. domestica* Linnaeus, 1758) et *Muscina* (*Mu. stabulans* Fallén, 1817).

La deuxième escouade arrive entre 48 et 72 heures post-mortem dès que l'odeur cadavérique ammoniacale se fait sentir. Elle est constituée principalement des mouches Sarcophagidae et Calliphoridae (genres *Lucilia*, *Cynomya*, *Chrysomia*). L'espèce *Cynomya mortuorum* (Linnaeus, 1761) se rencontre plutôt sur les petits cadavres d'animaux mais est assez rare sur ceux des humains (Wyss & Cherix, 2006).

La troisième escouade s'installe sur le cadavre au moment du rancissement des graisses (fermentation butyrique) qui dégage des acides gras volatils dont l'acide butyrique. Elle est composée de Coléoptères, surtout du genre *Dermestes*, et des Lépidoptères du genre *Aglossa*.

La colonisation du substrat par la quatrième escouade intervient au moment de la fermentation des matières protéiques (fermentation caséique). Elle attire donc les mêmes insectes que le fromage fermenté.

On y trouve des Diptères (Piophilidae, Fanniidae) et des Coléoptères Cleridae (genres *Necrobia* et *Corynetes*). Cette escouade est concomitante avec l'écoulement des liquides putrides qui attirent d'autres Diptères tels que les Drosophilidae et les Sepsidae.

La cinquième escouade apparaît lorsque le cadavre est au stade de la fermentation ammoniacale qui succède aux deux précédentes fermentations. Les liquides putrides s'évaporent et d'autres Diptères (Phoridae, Muscidae genre *Ophyra*) font leur apparition. De nombreux Coléoptères Silphidae, Histeridae (genres *Hister* et *Saprinus*) et Nitidulidae s'installent.

La sixième escouade achève d'absorber tous les liquides qui exsudent du cadavre et contribuent à sa dessiccation. Ce cortège est constitué de nombreux acariens qui restent présents sur la dépouille de 5 à 10 mois après le décès.

La septième escouade colonise la dépouille lorsque celle-ci est complètement desséchée, à partir de 8 mois approximativement. On y rencontre de nombreux Coléoptères (*Attagenus pello*, *Dermestes maculatus*, *D. lardarius*) et Lépidoptères (genres *Aglossa* et *Tineola*) qui se nourrissent habituellement de la matière animale sèche (fourrure, laine, etc.).

Lorsque la mort est ancienne, de 1 à 3 ans, la huitième escouade vient nettoyer les débris organiques laissés par les escouades précédentes. Elle est essentiellement composée de petits Coléoptères Tenebrionidae (genre *Tenebrio*) et Ptinidae (genre *Ptinus*).

Certains chercheurs ont modélisé l'arrivée des insectes sur un cadavre et ont dénombré moins d'escouades que Mégnin. Ainsi, Leclercq (1993) rapporte, par exemple, qu'en Italie Porta (1929) avait dénombré cinq escouades tandis que Fuller (1934) n'en avait dénombré que trois en Australie.

* **Corps inhumé**

Les cadavres inhumés de façon légale dans les cimetières ou directement enfouis dans le sol (dissimulation) peuvent également subir des dégradations liées à l'activité des insectes, majoritairement des Diptères Phoridae (Dewaele *et al.*, 2000). En même temps que ce dernier groupe, on retrouve aussi fréquemment des Coléoptères Rhizophagidae (*Rhizophagus parallelis*) et des Hyménoptères Formicidae (*Nylanderia* sp.) dans les herbes des cimetières (Britt *et al.*, 2008; Batucan & Nuñez, 2013; Wachkoo & Bharti, 2015; Xing *et al.*, 2016; Go, 2018). Quatre espèces de Phoridae sont souvent observées sur des cadavres humains en Europe; il s'agit des mouches des cercueils *Conicera tibialis* Schmitz, *Triphleba hyalinata* Meigen, *Megaselia rufipes* Meigen et *M. scalaris* Loew (Dewaele *et al.*, 2000).

La profondeur d'enfouissement et/ou la protection du corps par un cercueil non zingué limitent mais n'empêchent pas sa colonisation (Xing *et al.*, 2016; Go, 2018). Des expériences réalisées sur des carcasses de porcs inhumées ou lors d'exhumations de cercueils sur requêtes judiciaires ont révélé la présence de Trichoptères Leptoceridae, de Diptères Sphaeroceridae, Psychodidae, Muscidae et Calliphoridae. On peut également y observer des Hyménoptères, des Coléoptères Staphylinidae (*Aleochoera* sp.), Histeridae, Leioididae et Silphidae (Payne *et al.*, 1968; Vanlaerhoven & Anderson, 1999; Bourel *et al.*, 2004; Xing *et al.*, 2016; Go, 2018).

* Limitations de la datation à long terme

L'extrême variabilité des processus biochimiques qui régissent la décomposition d'un corps empêche de considérer toutes les escouades décrites par Mégnin comme un fait strictement reproductible en toutes circonstances (Wyss & Cherix, 2006). En effet, le nombre de celles-ci, leur succession et leurs compositions spécifiques sont fortement remis en question. Certaines escouades peuvent coexister ou, se chevaucher; d'autres peuvent être absentes mais le plus souvent, elles ne suivent pas l'ordre chronologique établi dans le modèle classique. Des espèces réputées appartenir aux 4^{ème} ou 5^{ème} escouades peuvent se retrouver très tôt sur un cadavre (Wyss & Cherix, 2006).

* Facteurs compliquant la détermination de l'intervalle post mortem

L'un des inconvénients de l'entomologie médico-légale est que le taux de croissance des larves peut être affecté par les changements de température. L'emplacement géographique peut modifier les taux de développement, l'exposition intérieure ou extérieure, les niveaux d'insolation et de pluviométrie (Hogan, 1999). La température est un facteur extrêmement important dans la détermination de l'IPM car les mouches ne pondent pas en dessous d'une certaine température et ne cherchent pas le corps après le coucher du soleil (Kapil & Reject, 2013). De plus un autre facteur de complication est la présence de substances étrangères dans le corps en décomposition, telles que les médicaments et les toxines qui peuvent affecter le taux de croissance des asticots, une information essentielle pour estimer l'IPM (Goff *et al.*, 1994). Certaines drogues (la cocaïne) et poisons accélèrent le développement des larves des insectes; l'héroïne et la méthamphétamine jouent le même rôle mais elles augmentent considérablement leur mortalité. La bioaccumulation, la présence ou l'absence de vêtements, les modifications du substrat par le sable, le sol et le béton, les erreurs significatives introduites jusqu'à 29 heures, sont des variables à prendre en compte pour donner une estimation plus précise de l'IPM.

I.7- Entomo-toxicologie

Les insectes peuvent constituer une alternative importante pour l'analyse toxicologique lorsque des échantillons humains ne sont pas disponibles à cette fin (Campobasso *et al.*, 2004a). Les drogues

contenues dans un cadavre peuvent affecter le taux de développement des insectes (O'Brien & Turner, 2004) qui les ont absorbées. Cela a été révélé après la détection de la clomipramine et l'amitryptiline (Goff *et al.*, 1993), la nortriptyline, la lévomépromazine et la tioridazine (Campobasso *et al.*, 2004a, b), du Diazépam (Carvalho *et al.*, 2004), de l'hydrocortisone, du sodium méthohexital (Musvasva *et al.*, 2001), de la méthadone (Behonick *et al.*, 2003), la méthamphétamine (Goff *et al.*, 1992), la phencyclidine et le malathion (Goff *et al.*, 1994). Ces substances sont couramment impliquées dans les analyses d'entomologie médico-légale.

I.7.1 Techniques de détection des drogues sur un cadavre

Pour les décès suspectés liés à l'absorption de drogues, les analyses de chromatographie en phase gazeuse (CPG) et de spectrométrie de masse peuvent être effectuées sur les larves de mouches pour rechercher la présence de phencyclidine, de cocaïne, d'héroïne, d'amitryptiline et de méthamphétamine (Miller *et al.*, 1994). L'amitryptiline et la nortriptyline peuvent aussi être détectées, en les extrayant, à l'aide d'acides ou de bases, des enveloppes des pupes de mouches ou de Coléoptères ainsi que des excréments de ces derniers. Chez les larves de *Calliphora stygia* (Fabricius), la morphine a été mise en évidence en détectant la chimioluminescence acide du permanganate de potassium couplée à une analyse par injection en flux ou la chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC). Cette dernière technique a permis également la mise en évidence d'amitryptiline et de la nortriptyline chez des larves d'insectes nourries sur des tissus des lapins (Gagliano-Candela & Aventaggiato, 2001).

Kapil & Reject (2013) ont récemment mis en évidence, par chromatographie en phase gazeuse, la présence de diazépam chez des larves de deux espèces de Calliphoridae, *Chrysomya albiceps* (Weidemann) et *C. putoria* (Weidemann), élevées sur des tissus de lapins ayant reçu deux fois la dose mortelle de ce médicament.

I.7.2 Effets des médicaments sur le taux de croissance des insectes

Certains effets des drogues sur les mouches dépendent de leur concentration, alors que d'autres dépendent simplement de leur présence. La présence des substances telles que la cocaïne, l'héroïne, la morphine, la méthamphétamine, le méthylène-dioxyméthamphétamine, le triazolam, l'oxazépam, la chloripramine, les barbiturates, le malathion, la nortriptyline, l'amitryptiline et le paracétamol, est couramment révélée en toxicologie entomologique (Kapil & Reject, 2013). Parce que la croissance des Diptères est affectée par divers médicaments et toxines, l'estimation de l'IPM basée sur le taux de développement des insectes peut être faussée.

Cependant, un examen plus approfondi des effets de l'héroïne sur le développement des mouches a montré qu'elle accélère réellement la croissance des larves et diminue ensuite le taux de développement

du stade nymphal. Les différences observées dans les taux de développement étaient suffisantes pour modifier les estimations de l'intervalle post mortem, basées sur le développement des larves, jusqu'à 29 h et celles basées sur le développement des pupes de 18 à 38 h. A titre d'exemple, des estimations de l'IPM avec des tissus de la mouche *Boettcherisca peregrina* immergée dans de l'héroïne ont conduit à des erreurs allant jusqu'à 29 heures (Kapil & Reject, 2013).

La présence de malathion dans les carcasses a retardé la ponte initiale de 1 à 3 jours et a prolongé la période de pupation de 2 à 3 jours. L'analyse des cas spécifiques a révélé que les toxines présentes dans le corps d'une personne au moment de son décès peuvent confondre les estimations de l'intervalle post mortem. La présence de l'organophosphate malathion dans le corps de l'homme a retardé la ponte pendant quelques jours. Les larves de *Chrysomya megacephala* du groupe témoin se sont développées plus rapidement que celles s'étant nourries de tissus contenant du malathion. Le temps nécessaire à l'émergence des adultes était significativement plus long pour la colonie traitée au malathion, soit 10 jours comparés à 7 jours dans la colonie témoin (Kapil & Reject, 2013).

La cocaïne et la méthamphétamine accélèrent le développement des mouches. La première substance induit leur développement entre 36 à 76 heures après l'éclosion des larves. La quantité de méthamphétamine, par contre, influe sur le taux de développement des pupes. Une dose mortelle de cette substance accélère le développement larvaire au cours des deux premiers jours (Kapil & Reject, 2013).

Les barbituriques rallongent la durée du stade larvaire des mouches donc du temps pour atteindre la pupation.

Le paracétamol présent dans l'aliment d'élevage, a un léger impact sur le développement des larves de Calliphoridae, en particulier au cours des 2 à 4 jours de développement (Kapil & Reject, 2013).

I.8 Détermination du lieu du décès

Les espèces d'insectes trouvées en un lieu à l'intérieur d'un corps en décomposition, et qui ne font pas partie de l'entomofaune de cette zone, peuvent indiquer que le corps a été déplacé d'un autre site qui peut être déterminé (Keh, 1985). La biologie des insectes associés aux scènes de crimes peut varier d'une région à une autre. La faune nécrophage d'une région donnée permet de répondre aux trois questions les plus posées lors d'un crime: **où**, **quand** (Hall, 2008), et **comment** l'incident est-il survenu (Gay, 1965)? Sur la base de l'analyse de la séquence d'arrivée des arthropodes sur un cadavre et de la connaissance du temps de développement des différentes espèces d'insectes (Lord & Burger, 1983), la prédiction du temps de décès d'une victime est possible (Introna *et al.*, 1998).

I.9 Paramètres influençant la succession des arthropodes sur une carcasse animale

Au cours d'une succession d'une entomofaune, certains insectes de différents groupes colonisent la carcasse; les groupes dont la séquence de colonisation est prévisible sont techniquement plus importants. Les espèces d'arthropodes inféodées aux carcasses animales et impliquées dans cette succession sont également influencées par diverses variables telles que: la région géographique, les habitats, les saisons, la température, l'humidité relative, les précipitations, le type de mort, l'exposition des carcasses au soleil ou leur couverture d'enveloppement, la végétation et les types de sol (Sonker *et al.*, 2018). Tous ces facteurs ont une incidence sur la composition, la richesse, l'abondance et la diversité des espèces de l'entomofaune des charognes dans une région géographique donnée (Omar *et al.*, 2003; Azwandi & Abu Hassan, 2009; Sonker *et al.*, 2018). Ils sont classés en facteurs abiotiques et facteurs biotiques

I.9.1 Facteurs abiotiques

I.9.1.1 Localisation géographique

Les conditions météorologiques d'une région, c'est-à-dire son climat, sa végétation ainsi que les caractéristiques du sol, agissent sur la présence et le développement des faunes arthropodiennes (Anderson, 2010). La variation de l'entomofaune entre diverses zones géographiques montre la nécessité d'études des modèles de succession des insectes (Goff, 1991; 1993) pour éviter des erreurs d'interprétation des données (Sonker & Singh, 2017).

I.9.1.2 L'habitat

L'état de l'habitat dans lequel se trouve une carcasse (milieu intérieur ou extérieur, exposition au soleil ou à l'ombre, zone rurale ou urbaine, immersion ou non dans un plan d'eau) influe sur son taux de décomposition et le type de succession entomologique (Shean *et al.*, 1993). Autant les espèces de Diptères sont spécifiques à un habitat, autant celles des Coléoptères en ont des préférences (Smith & Heese, 1995). Un chevauchement des compositions spécifiques fauniques est possible pour des habitats étroitement liés (Smith & Wall, 1997). L'exposition d'une carcasse au soleil augmente sa température et le taux d'évaporation qui en accélère le taux de décomposition (Anderson, 2001). La déshydratation précoce d'une carcasse entraîne une réduction des ressources et une concurrence accrue entre les espèces d'insectes; elle rend par exemple le macchabée peu attrayant pour les larves de Calliphoridae qui désertent massivement (Dillon & Anderson, 1995).

Il n'est pas superflu de noter que la ponte dans les parties ombragées du corps affecte également le schéma de succession (Shean *et al.*, 1993). En effet, une diminution du taux de décomposition dans ces sites assure une disponibilité prolongée des ressources pour nombre de taxons d'arthropodes nécrophages (Anderson & Vanlaerhoven, 1996).

Il existe également des successions de nécro-entomofaunes dans les carcasses enterrées car les sens olfactifs de ces insectes leur permettent de repérer une carcasse enfouie (Smith, 1986). Ces successions dépendent aussi des changements saisonniers, des types de sol, de leur profondeur et de la prédation de certains arthropodes (VanLaerhoven & Anderson, 1999).

En milieu aquatique, les insectes nécrophages colonisent une carcasse uniquement lorsqu'elle remonte à la surface (Barrios & Wolff, 2011; Reigada *et al.*, 2011). Dans un tel milieu et en raison de la flottaison du corps, la décomposition d'une carcasse se déroule habituellement en six étapes (Barrios & Wolff, 2011) au lieu de cinq dans l'habitat terrestre (Koffi *et al.*, 2017a; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b).

I.9.1.3 Effet de l'habillement ou de la couverture

Des variations dans la succession faunique des arthropodes nécrophages ont été notées entre carcasses vêtues et non vêtues (Kelly *et al.*, 2008). En général, les vêtements augmentent l'humidité et le taux de décomposition des carcasses; ils fournissent également des sites de ponte supplémentaires à un plus grand nombre de mouches (Dillon & Anderson, 1995). Cette humidité retarde la colonisation des espèces d'insectes associées aux carcasses sèches. De plus, les vêtements protègent les arthropodes nécrophages des environnements hostiles (Kelly *et al.*, 2008) et des prédateurs, leur permettent de boucler leurs cycles biologiques et d'accélérer le processus de décomposition des cadavres (Mann *et al.*, 1990). Toutefois, on a observé un retard des pontes de Calliphoridae de 2,5 jours en raison de l'enveloppement de la carcasse (Goff, 1992).

I.9.1.4 Saisonnalité

La saisonnalité affecte le taux de décomposition et les modèles de succession des escouades d'insectes sur les cadavres, leurs richesses et abondances spécifiques (Anderson, 2001). Les insectes sont des organismes à sang froid (poïkilothermes); leur présence, leur physiologie et leur comportement dépendent fortement de la température (Kreitlow, 2010). La saisonnalité est un facteur important à considérer dans l'application d'un modèle de succession d'une nécroentomofaune dans les affaires judiciaires; en effet, les données d'un modèle de succession arthropodienne d'une saison ne peuvent pas automatiquement s'appliquer à une autre saison, même dans la même région géographique (Anderson, 2010). Les espèces d'insectes recensées au cours d'une saison, en un lieu donné, sont des preuves importantes (indicatrices) dans la détermination de ce lieu voire de l'heure de ce décès (Smith, 1986).

Une carcasse dont l'exposition a traversé différentes saisons de l'année montre une grande variation dans la composition et de l'abondance des insectes nécrophages l'ayant envahie (Smith, 1986). Cette variation saisonnière de l'occurrence, du nombre et des types d'activités des arthropodes suit leur modèle de succession sur les restes (Anderson, 2010). En hiver, par exemple, les insectes des régions tempérées

sont peu actifs; le taux de décomposition diminue en raison justement de la faible activité des arthropodes, de sorte que la disponibilité prolongée de la carcasse permet la colonisation d'un plus grand nombre d'insectes. Dans les régions tropicales, la succession faunique s'achève plus rapidement du fait de l'élévation de la température qui réduit le temps nécessaire de la collecte des données (Oliveira & Vasconcelos, 2010). En été, par contre, la composition et le modèle de succession des insectes diffèrent de ceux de l'hiver (Introna *et al.*, 1991) d'une part et, d'autre part, de ceux observés en zones tropicales (Feugang Youmessi, 2012 ; Koffi *et al.*, 2017a; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b). Le climat chaud et sec des saisons estivales accélère le taux de décomposition, augmente la déshydratation de la carcasse et limite potentiellement la visite de certains taxons d'insectes (Anderson, 2001). L'état très sec de la carcasse a également un effet négatif sur le développement de certaines espèces d'arthropodes nécrophages (Johl & Anderson, 1996).

À basse température, les insectes se cachent sous la peau de la carcasse ou trouvent un abri sous cette dernière (Dillon & Anderson, 1995). Les larves des Diptères se protègent des températures extrêmes (basses ou très élevées) par leur propre chaleur métabolique générée par leur agrégation (Turner & Howard, 1992; Boulay, 2015). Les insectes se protègent aussi des changements saisonniers indésirables en entrant en diapause (Block *et al.*, 1990).

Les précipitations influencent la succession des insectes dont elles diminuent l'activité (Mann *et al.*, 1990). Lors des fortes pluies, les larves s'abritent dans la végétation environnante ou se cachent sous la peau et sous les vêtements de la dépouille. En l'absence d'un site de pupaison approprié ou en très bon état humide, un retard dans la pupaison des Calliphoridae a été noté (Wells & Kurahashi, 1994). Il découle de cette littérature que la généralisation de l'impact des changements saisonniers incite à la prudence dans l'estimation de l'IPM (Catts, 1992).

I.9.1.5 Effets de la température interne de la carcasse

L'interaction du métabolisme microbien avec la masse des larves d'arthropodes augmente considérablement la température interne de la carcasse, qui devient supérieure à la température ambiante (Turner & Howard, 1992). L'augmentation de la température interne d'une carcasse entraîne celle du taux de développement des insectes nécrophages et modifie la succession d'arthropodes sur la dépouille (Goodbrod & Goff, 1990). Turner & Howard (1992) ont signalé une augmentation de 19 °C à 27 °C de la température interne d'une carcasse par rapport à celle de l'atmosphère environnante. Toutefois, le taux de développement des insectes nécrophages à diverses plages de température est un facteur très important dans la détermination du temps écoulé depuis la mort (Anderson, 2000).

I.9.1.6 Effet de la congélation

Une carcasse congelée n'est pas un site d'alimentation ni de reproduction approprié pour les insectes nécrophages; elle limite la succession de l'entomofaune (Johl & Anderson, 1996) parce qu'elle réduit l'activité des insectes et stoppe la décomposition de la carcasse.

I.9.1.7 Effets de l'humidité

L'humidité atmosphérique affecte l'abondance des insectes. Il est connu qu'un taux d'humidité très élevé agit comme un répulsif pour les larves de Calliphoridae. En général dans ces conditions, les larves des Diptères quittent les carcasses et interrompent leur développement. Dans une même région géographique, Bourel *et al.* (1999) ont signalé une différence considérable dans la colonisation des carcasses par des espèces de Calliphoridae d'une année à l'autre. *Calliphora vicina* et *C. vomitoria* ont été les pionniers sur la carcasse le troisième jour mais leurs femelles n'y ont déposé des pontes qu'au cinquième jour. L'année suivante, à la même période, ces deux espèces ont montré des différences dans l'heure de colonisation de la carcasse et dans leurs comportements de ponte. Cependant, un taux d'humidité élevé est favorable au développement des larves de Silphidae et de Staphylinidae (Payne, 1965). Ainsi, le niveau d'humidité d'une carcasse est responsable de la composition spécifique de sa faune cadavérique pendant le processus de succession (Johl & Anderson, 1996).

I.9.1.8 Effet des composés volatils

Les insectes nécrophages sont attirés par une carcasse en raison des effets combinés des composés volatils qu'elle émet en se décomposant. Ce repérage de la carcasse par ces insectes est aussi provoqué par les activités microbiennes au cours de la décomposition (Koffi *et al.*, 2017a; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b). Certains composés biochimiques tels que NH₃, HS, CO et N sont libérés pendant la décomposition d'un corps et attirent les arthropodes nécrophages (Sonker *et al.*, 2018; Martin *et al.*, 2019, 2020; Minchili, 2020) dont le comportement de ponte est régulé par ces composés volatils (Wall & Warnes, 1994).

Les Calliphoridae peuvent d'une part détecter un cadavre juste quelques minutes après le décès grâce à la présence de sang et d'autres liquides corporels et, d'autre part, y pondre en quelques heures (Koffi *et al.*, 2017a, b; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b). Les phéromones, l'humidité atmosphérique et les composés de décomposition riches en ammoniac stimulent la ponte de ces organismes.

I.9.2 Facteurs biotiques

I.9.2.1 Biologie des arthropodes nécrophages

La biologie des insectes nécrophages régit le modèle de leur succession sur une carcasse. Les concurrences intra/ et interspécifiques dans une telle communauté perturbent leurs schémas de colonisation.

La compétition entre les différents stades larvaires de Diptères nécrophages entraîne l'absence totale de certaines espèces. Les espèces nécrophages semblent plus compétitives en termes d'occupation de l'espace et de consommation de la nourriture (carcasse); elles améliorent ainsi leur taux de développement (Hutton & Wasti, 1980). Une compétition intense pour la nourriture et l'espace se met en place entre les nombreuses espèces d'insectes nécrophages qui arrivent sur une carcasse au même moment (Levot *et al.*, 1979). Denno & Cothran (1976) ont montré que les mouches de la faune secondaire (les Sarcophagidae) ne se reproduisent que lorsque celles de la faune primaire (les Calliphoridae) sont peu nombreuses. Les différences en besoins alimentaires entre certaines espèces affectent leurs capacités de survie sur une carcasse en conditions défavorables (Anderson, 2001). Ainsi l'espèce *C. megacephala*, qui a besoin de moins de nourriture que les autres Calliphoridae pour se développer, survit mieux sur les restes morts.

I.9.2.2 Effet de la période de l'oviposition

On a toujours pensé que les mouches ne sont pas actives la nuit et donc ne pondent pas pendant ce temps mais Greenberg (1990) et Singh & Bharti (2001) ont démontré que les Calliphoridae peuvent se reproduire la nuit bien qu'à un taux très faible. Leurs ovipositions nocturnes entraînent une erreur de plus de douze heures dans l'estimation de l'intervalle post mortem. Il convient donc d'en tenir compte dans la prédiction d'un indice sur la base du modèle de succession de la faune nécrophage.

I.9.2.3 Interactions avec les vertébrés ou les espèces adventices

La présence d'espèces adventices aux alentours d'une carcasse peut influencer le modèle de succession des arthropodes nécrophages (Greenberger, 1985). Il est connu, par exemple, que les fourmis de feu se nourrissent des insectes nécrophages et affectent ainsi directement la succession nécro-entomofaunique. Un grand nombre de foyers de cette myrmécofaune sur et autour d'une carcasse, non seulement retarde l'arrivée et la colonisation de cette dernière par les insectes nécrophages mais nuit aussi à sa décomposition et perturbe la succession de l'entomo-nécrofaune (Wells & Greenberg, 1994). La liste des facteurs biotiques qui affectent la succession des insectes n'est pas exhaustive mais elle ressort tout au moins ceux auxquels on recourt le plus lors de la résolution des problèmes judiciaires à l'aide des preuves entomologiques.

I.10 Intérêt des insectes nécrophages dans le traitement des maladies

Dans le traitement de certaines maladies, certaines espèces de Diptères se nourrissent des tissus nécrosés. Cette propriété est par exemple utilisée dans le traitement de l'ostéomyélite lorsque l'échec du traitement antibiotique ou chirurgical est certifié (Wyss & Cherix, 2006).

I.11 Considérations éthiques

Les études sur les animaux sont actuellement indispensables en recherche biologique et médicale pour des raisons scientifiques, légales et éthiques. Toutefois, cette nécessité doit prendre en compte le fait que les animaux sont des êtres vivants et sensibles et, qu'à ce titre, une considération particulière leur est due (GIRCOR, 2009; JIRBAHB-CRFD-SVSE, 2021).

I.11.1 Euthanasie

Le terme euthanasie dérive des termes grecs « eu » signifiant bien et « thanatos » signifiant mort. L'euthanasie est donc une pratique indolore, une décision prise par le propriétaire d'un animal, le chercheur, le vétérinaire ou encore les autorités compétentes ayant une responsabilité éthique et morale pour provoquer de façon douce et respectueuse la mort d'un animal dont ils ont le soin (Rietveld, 2003a, b; CCPA, 2010; Joncour, 2011; AVMA, 2013). Ainsi, l'euthanasie s'appuie sur une justification morale et juridique de l'acte de tuer (Marguenaud, 1992; Combes & Guitton, 1996). Pour qu'elle soit considérée comme humaine, elle doit être rapide, efficace et fiable (Maurin-Blanchet, 2001; Le Bail, 2003; Mouret & Porcher, 2007; APP & PC, 2016).

I.11.2 Objectif

Afin de déterminer si une méthode d'euthanasie est éthiquement acceptable, il faut établir (1) que l'action dépressive sur le système nerveux central assure une insensibilité immédiate à la douleur et (2) que des mesures sont prises pour réduire au minimum la détresse de l'animal (CCPA, 2003; 2005). De ce fait l'objectif de l'euthanasie est de réduire le plus possible la douleur et la détresse de l'animal (CCPA, 2009; 2010; Mehdi, 2015). Par conséquent, c'est la méthode de mise à mort qui répond à ces exigences, tout en étant compatible avec la nature du protocole expérimental, qui devrait être choisie (CCPA, 2010). L'euthanasie devrait provoquer une perte de conscience rapide, suivie d'un arrêt cardiaque, d'un arrêt respiratoire, enfin d'une perte totale de la fonction cérébrale. La mort de l'animal à la suite d'une euthanasie doit être vérifiée avant l'élimination de sa carcasse; de plus les réactions psychologiques des êtres humains vis à vis de cette pratique devraient être prises en compte dans le choix de la méthode de mise à mort, sans toutefois avoir une préséance sur le bien-être des animaux (CCPA, 2003; 2005; 2009; 2010). D'après Straus (2000), la non prise en compte de la bête dans la conception scientifique de la vie animale dépend de l'euthanasie prescrite.

I.11.3 Déroulement

L'euthanasie se déroule en deux étapes. Dans un premier temps, le vétérinaire ou une personne compétente calme l'animal puis l'endort en lui injectant un produit anesthésiant ou tranquillisant. Une fois que l'animal dort profondément, un produit létal lui est injecté pour entraîner l'arrêt respiratoire et cardiaque. Des manifestations musculaires peuvent se produire à la suite de l'injection de ce produit létal.

Celles-ci ne signifient pas que l'opération a échoué, ni que l'animal souffre; il s'agit juste de réflexes (CCPA, 2009; 2010; Mehdi, 2015 ; APP & PC, 2016; Bergeron, 2018). Notons que le produit létal utilisé peut être soit un mélange d'agents anesthésiants, soit du pentobarbital qui est un barbiturique qui, à forte dose, provoque le décès. En principe, ces injections s'effectuent par voie veineuse. Toutefois, si pour une raison ou une autre il n'est pas possible d'utiliser cette voie, on procède via les muscles ou par voie gazeuse (CCPA, 2009; 2010; Mehdi, 2015; <https://lemagdesanimaux.ouest-france.fr/dossier-5-euthanasie-animal-compagnie.html> 2018). Le tableau II ci-dessous présente les différentes lignes des méthodes d'euthanasie.

Tableau II: récapitulatif des lignes directives des méthodes d'euthanasie acceptables pour les animaux d'expérimentation (CCPA, 2003; 2005; 2009; 2010)

Classification et noms communs	Méthodes acceptables	Méthodes acceptables sous condition
Classe Amphibia (amphibiens)		
Grenouilles, crapauds	Immersion ou injection de tricaine méthanesulfonate tamponnée (TMS; appelée aussi MS222, tricaine)	
	Immersion ou injection de benzocaïne	
	Injection s.c. de barbituriques dans le sac lymphatique	
	Surdose d'anesthésiques à inhaler (pour les espèces qui ne retiennent pas leur souffle), suivie d'une autre méthode visant à s'assurer de la mort	
Classe Reptilia (reptiles)		
Tortues, serpents, lézards	Injection i.v. ou i.p. de barbituriques	
	Pistolet à tige perforante (pour les espèces de grande taille)	
Classe Osteichthyens (poissons osseux) Classe Chondrichthyens (poissons cartilagineux)		
	Immersion dans de la tricaine méthanesulfonate tamponnée (TMS; appelé aussi MS222, tricaine) ou injection de TMS tamponnée	Commotion cérébrale (mise à mort d'urgence pour d'autres espèces)
	Benzocaïne ¹	
	Étomidate ¹ Métomidate (appelé aussi Marinil ^{MC})	
	Essence de girofle ¹	
	Macération (pour les poissons mesurant moins de 2 cm)	
Classe Aves (oiseaux)		
Poulets, pigeons, etc.	Injection i.v. ou i.p. de barbituriques ainsi qu'un anesthésique local	Dislocation cervicale
	Gaz inertes (Ar, N ₂) pour la volaille	CO ₂
	Surdose d'anesthésiques à inhaler (pour les espèces qui ne retiennent pas leur souffle), suivie d'une ou d'autres méthodes visant à s'assurer de la mort	Décapitation
	Mise à mort ou étourdissement par pistolet à cheville pénétrante pour la volaille seulement	Macération (seulement pour les poussins âgés de 2 jours ou moins)
Classe Mammalia (mammifères)		
Ordre Rodentia (Souris, rats, hamsters, gerbilles, cobayes)	Injection i.p. de barbituriques tamponnés et dilués ainsi qu'un anesthésique local	CO ₂
	Surdose d'anesthésiques à inhaler (pour les espèces qui ne retiennent pas leur souffle), suivie d'une ou d'autres méthodes visant à s'assurer de la mort	Argon ou azote, Dislocation cervicale et Décapitation
Ordre Lagomorpha (Lapins)	Injection i.v. de barbituriques	Dislocation cervicale

Suite du tableau II

	Pistolet à cheville pénétrante	T-61
	Surdose d'anesthésiques à inhaler, suivie d'une ou d'autres méthodes visant à s'assurer de la mort	
Ordre Carnivora Famille Felidae (Chats)	Injection i.v. de barbituriques	T-61
	Surdose d'anesthésiques à inhaler, suivie d'une ou d'autres méthodes visant à s'assurer de la mort	
Ordre Carnivora Famille Canidae (Chiens)	Injection i.v. de barbituriques	T-61
	Surdose d'anesthésiques à inhaler, suivie d'une ou d'autres méthodes visant à s'assurer de la mort	
Ordre Carnivora Famille Mustelidae (Furets, moufettes)	Injection i.v. de barbituriques ainsi qu'un anesthésique local	
	Surdose d'anesthésiques à inhaler (pour les espèces qui ne retiennent pas leur souffle), suivie d'une ou d'autres méthodes visant à s'assurer de la mort	
Ordre Artiodactyla (ongulés) (Ruminants: Moutons, bovins, chèvres)	Injection i.v. de barbituriques	Coup de feu
	Utilisation d'un pistolet à tige perforante ou d'une balle unique puis exsanguination ou destruction du cerveau	
Ordre Artiodactyla (ongulés) (Porcs)	Injection i.v. de barbituriques (ou injection i.p. ainsi qu'un anesthésique local)	CO ₂
	Utilisation d'un pistolet à tige perforante, puis exsanguination ou décérébration	
	Étourdissement par décharge électrique puis exsanguination ou décérébration	
	Surdose d'anesthésiques à inhaler puis une ou d'autres méthodes visant à s'assurer de la mort	
	Argon (dans des conditions rigoureusement contrôlées)	
Ordre Perissodactyla (ongulés) (Chevaux, ânes)	Injection i.v. de barbituriques	Coup de feu
	Utilisation d'un pistolet à tige perforante, puis exsanguination ou décérébration	
Ordre Primates (primates non humains): Singes	Injection i.v. de barbituriques	
	Surdose d'anesthésiques à inhaler, puis une ou d'autres méthodes visant à s'assurer de la mort	
Mammifères marins	Barbituriques	

s.c. – sous-cutanée ; i.v. – intraveineuse ; i.p. – intrapéritonéale

I.11.4 Méthodes d'euthanasie recommandées pour le porc domestique

Le choix de la méthode de sacrifice d'un animal prend en considération les points suivants : la sécurité des personnes (la méthode ne doit pas exposer le producteur ou les employés à des risques inutiles), le bien-être de l'animal (la méthode doit réduire au minimum la souffrance de l'animal), les conditions pratiques et techniques (la méthode doit être facile à apprendre et à être répétée en obtenant le même résultat), le coût (la méthode doit être économique), enfin le degré de désagrément pour le manipulateur, c'est-à-dire que la réalisation de cette opération ne doit pas être désagréable (Hart *et al.*, 1990). Le tableau III ci-dessous présente les différentes techniques d'euthanasie recommandées pour le porc.

Tableau III: différentes techniques d'euthanasie recommandées pour le porc en fonction de son poids corporel ou de l'âge (APP & PC, 2016)

Techniques d'euthanasie	Age ou poids du porc domestique				
	> 3 semaines	> 10 semaines	Croissance (<68 kg)	Finition(>68 kg)	Reproducteur
Dioxyde de carbone (CO ₂)	oui	oui	peu pratique	peu pratique	peu pratique
Pistolet	non	oui	oui	oui	oui
Pistolet à percussion (balle captive)	non	oui	oui	oui	oui
Electrocution	oui	oui	oui	oui	oui
Surdose d'anesthésiques	oui	oui	oui	oui	oui
Traumatisme	oui	non	non	non	non

I.11.5 Avantages et inconvénients de quelques méthodes d'euthanasie du porc domestique

I.11.5.1 Dioxyde de carbone (CO₂)

En général, l'administration d'une surdose de dioxyde de carbone par inhalation est une méthode d'euthanasie efficace pour un grand nombre d'espèces; la période qui précède la mort peut cependant être assez longue (Makowska *et al.*, 2009; AVMA, 2013; Rice *et al.*, 2014; APP & PC, 2016). Par conséquent, le recours à une autre méthode pour s'assurer de la mort, dès que l'animal a perdu connaissance à la suite de l'administration de l'anesthésique, est recommandé (Mouret & Porcher, 2007; CCPA, 2010). Un porc anesthésié par des agents administrés par voie respiratoire meurt par arrêt respiratoire; il s'agit d'une méthode sûre pour le personnel et relativement peu onéreuse (https://www.3trois3.com/articles/les-methodes-deuthanasie-des-porcs_68/ 2018).

Notons toutefois que du point de vue éthique et peu importe l'espèce animale, l'inhalation du dioxyde de carbone n'est pas un choix idéal comme méthode de mise à mort (Hawkins *et al.*, 2006). Elle augmente des signes comportementaux de détresse avant la perte de connaissance (Leach *et al.*, 2002;

Hawkins *et al.*, 2006; Niel & Weary, 2006, 2008). Le porc peut alors souffrir de spasmes musculaires transitoires avant la mort (Whiting & Marion, 2011), probablement comme réponse physiologique au début de l'anesthésie et non par un stress émotionnel (Meyer *et al.*, 2013), avec des risques d'aversion chez ce dernier (Raj & Gregory, 1995; Raj, 1996). Ces spasmes sont peu intenses chez un porc non porteur du gène du stress (https://www.3trois3.com/articles/les-methodes-deuthanasie-des-porcs_68/ 2018). Le CO₂ est plus lourd que l'air, ainsi quand on construit un container pour réaliser des euthanasies de porcs, il faut placer la valve d'extraction (*outlet valve*) au-dessus afin de permettre à l'air de s'échapper. Chez les humains, le CO₂ à une concentration inférieure à 50 % entraîne des douleurs oculaires (Chen *et al.*, 1995; Feng & Simpson, 2003) et des muqueuses nasales (Anton *et al.*, 1992; Danneman *et al.*, 1997). C'est pourquoi, son usage devrait être évité si d'autres méthodes s'avèrent pratiques pour l'expérience et pour l'espèce.

I.11.5.2 Surdose d'anesthésiques

Du point de vue éthique, les méthodes chimiques acceptables de mise à mort des animaux d'expérimentation comprennent les agents qui leur sont injectés comme les barbituriques (AVMA, 2007; 2013; CCPA 2010; APP & PC, 2016) qui sont efficaces pour la plupart des espèces. Théoriquement, les anesthésiques devraient être administrés par injection intraveineuse (i.v.) sauf si l'animal est trop petit. Dans ce dernier cas, une injection intrapéritonéale (i.p.) est effectuée. La solution de barbituriques devrait être tamponnée, diluée et combinée à un anesthésique local à action rapide comme la lignocaïne (ou lidocaïne), immédiatement avant l'injection de l'animal pour réduire l'irritation (Raj, 2008). Les mélanges de barbituriques et du pentobarbital dépriment le système nerveux central en provoquant une anesthésie profonde qui conduit à un arrêt respiratoire et cardiaque.

I.11.5.3 Pistolet ou pistolet à percussion

L'étourdissement à l'aide d'un pistolet (à cheville pénétrante ou non pénétrante, pistolet à percussion et arme à feu) convient au porc et est approprié pour les animaux de grande taille. Lorsque l'étourdissement est réussi, il est recommandé de s'assurer de la mort de l'animal en effectuant, par exemple, une exsanguination (en coupant la carotide ou l'artère brachiale), la libération d'air comprimé dans le crâne ou la décérébration pour léser les parties profondes du cerveau et pour prévenir les convulsions (EFSA, 2005; CCPA, 2010; APP & PC, 2016; Bergeron, 2018). Ces deux étapes (étourdissement et exsanguination) ne doivent être réalisées que par des personnes expérimentées car une attention particulière doit être portée à la sécurité des personnes. Si on utilise un pistolet, les animaux doivent être immobilisés à l'extérieur des bâtiments d'élevage et tenus au sol pour éviter le risque d'un rebond de la balle (Joncour, 2011). Le tireur doit viser la ligne médiane du front, à un doigt au-dessus des yeux (voir figure 2). Le pistolet à percussion doit être appliqué fermement contre le crâne en faisant un

angle de 20° vers le haut en direction du cerveau (Gregory & Wotton, 1990), bien qu'il soit démontré que l'activité électrique du cerveau persiste pendant 13 ou 14 secondes après la décapitation (Mikeska & Klemm, 1975).

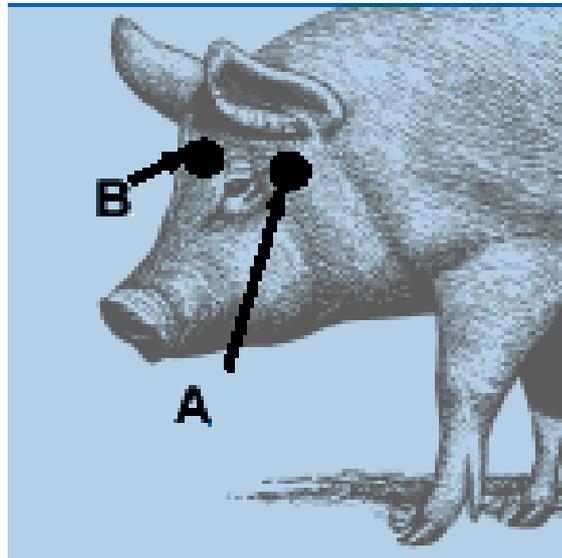


Figure 2: points d'application de l'arme lors d'une euthanasie à l'aide d'un pistolet
A: tempe, B: front.

I.11.5.4 Electrocutation

L'électrocution induit la mort de l'animal par une insensibilisation cérébrale suivie d'une fibrillation cardiaque provoquant une anoxie cérébrale. On recommande de procéder à l'électrocution en deux temps. On doit d'abord étourdir le porc en plaçant les électrodes de chaque côté de la tête pour que le courant passe à travers le cerveau (figure 3). Dans un deuxième temps, le courant doit être redirigé vers le cœur du porc inconscient pour induire la fibrillation cardiaque. Pour des porcs en fin d'engraissement, il est conseillé d'appliquer un minimum de 1,25 ampère à 300 volts pendant 1 seconde (Mouret & Porcher, 2007; APP & PC, 2016; https://www.3trois3.com/articles/les-methodes-deuthanasie-des-porcs_68/ 2018).

Le plus gros inconvénient de cette méthode est le risque pour les personnes la pratiquant d'être électrocutées elles-mêmes. Il s'agit d'une méthode peu pratique quand il faut l'appliquer à plusieurs animaux car elle demande beaucoup de temps (APP & PC, 2016; <http://www.aasv.org/aasv/euthanasia.pdf> 2018).

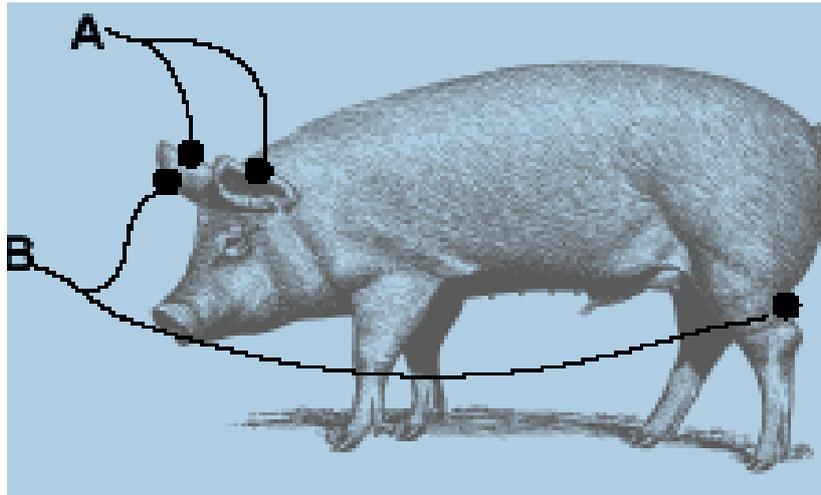


Figure 3: position des électrodes en cas d'euthanasie par électrocution
A: en cas d'électronarcose B : en cas de fibrillation cardiaque.

Lors de l'euthanasie d'un porc, les méthodes et les outils employés ne semblent pas être en mesure de supprimer totalement la souffrance de l'animal (Chevillon *et al.*, 2005). Les cris, les spasmes et les débats notés pendant quelques instants montrent l'existence d'une souffrance « résiduelle » déjà contraignante psychologiquement contre la souffrance liée aux conditions pour l'opérateur (Mouret, 2005). Ainsi, la vie animale en tant que vie vécue est déniée (Porcher, 2003a et b).

La justification des différentes techniques de gestion des cadavres d'animaux repose également sur les notions d'«hygiène», de «biosécurité», de «sécurité sanitaire» et de «normes environnementales». L'argument principal des défenseurs des pratiques et techniques d'euthanasie est que la biosécurité des élevages est associée au respect de l'environnement (Hamelin, 2005).



**CHAPITRE II : MATERIEL ET
METHODES**

II.1 Présentation de la localité et des sites d'étude

Cette étude a été menée à Malombo, dans le Département du Nyong et Kélé, Région du Centre Cameroun (figure 4), de janvier à novembre 2018. Le choix de cette localité a pris en compte sa position géographique en pleine forêt équatoriale, les activités anthropiques en ce lieu où on retrouve, en plus d'une végétation luxuriante, quelques espaces cultivés et des jachères, le faible peuplement humain. Hormis la forêt sur sol ferme, il y existe des marécages avec une couverture réduite le long de certains cours d'eau. Le réseau hydrographique y est dense et dominé par le fleuve Nyong. Malombo a un climat qui appartient au domaine équatorial à quatre saisons: une petite saison de pluies (avril à juin), une grande saison de pluies (septembre à mi-novembre), une grande saison sèche (mi-novembre à mars) et une petite saison sèche (juillet à août). Les précipitations moyennes annuelles sont de 1600 mm et la température moyenne annuelle varie de 19 °C à 33 °C (Suchel, 1987; Abossolo *et al.*, 2015).

Les coordonnées géographiques des quatre sites d'étude retenus sont: site 1 (3° 32'12''N, 11°06'49''E), site 2 (3°32'12''N, 11°06'52''E), site 3 (3°32'41''N, 11°06'37''E) et site 4 (3°32'06''N, 11°6'27''E).

Le site 1 (S₁) qui a été exploité pendant la grande saison sèche (GSS) a un sol ferme. La canopée y était dense couvrant complètement le sol avec des arbres de plus de 20m de haut.

Le site 2 (S₂) a été utilisé au cours de la petite saison de pluies (PSP); c'était une jachère d'environ 4 ans. Son sol sec était abondamment couvert d'une broussaille composée à près de 90% de *Chromolaena odorata*, de safoutiers (*Dacryodes edulis*) et de quelques arbustes. Sa canopée était donc ouverte.

Le site 3 (S₃) était une jeune jachère d'environ 1 an, avec un sol humide. Sa végétation était constituée de nombreux arbustes et de quelques grands arbres de plus de 20m de haut avec un diamètre du tronc supérieur à 1m. La canopée était ouverte. Notre expérimentation s'y est déroulée durant la petite saison sèche (PSS).

Le site 4 (S₄) d'un sol marécageux, avait une végétation composée d'arbustes et de quelques grands arbres de plus de 20m de haut et d'un diamètre du tronc supérieur à 1m. La canopée très dense couvrait complètement le sol. Ce site a été exploité pendant la grande saison de pluies (GSP).

Les distances entre les différents sites varient considérablement. Elles sont de : 100 m entre S₁ et S₂, 1700 m entre S₂ et S₃, 2300 m entre S₃ et S₄, enfin de 1000 m entre S₁ et S₄. Ce schéma d'espacement des sites devant recevoir les carcasses de porcs concorde avec celui d'autres études entomologiques sur les dépouilles (Schoenly *et al.*, 2007; Swann *et al.*, 2010; Tomberlin *et al.*, 2011); il évite des interférences entre les faunes d'arthropodes d'autant plus qu'ils ont été exploités à différentes saisons de l'année. Il est

connu que la décomposition et la colonisation d'une carcasse par des arthropodes sont affectées par l'emplacement de la carcasse (Shean *et al.*, 1993) et les saisons (Anderson, 2010).

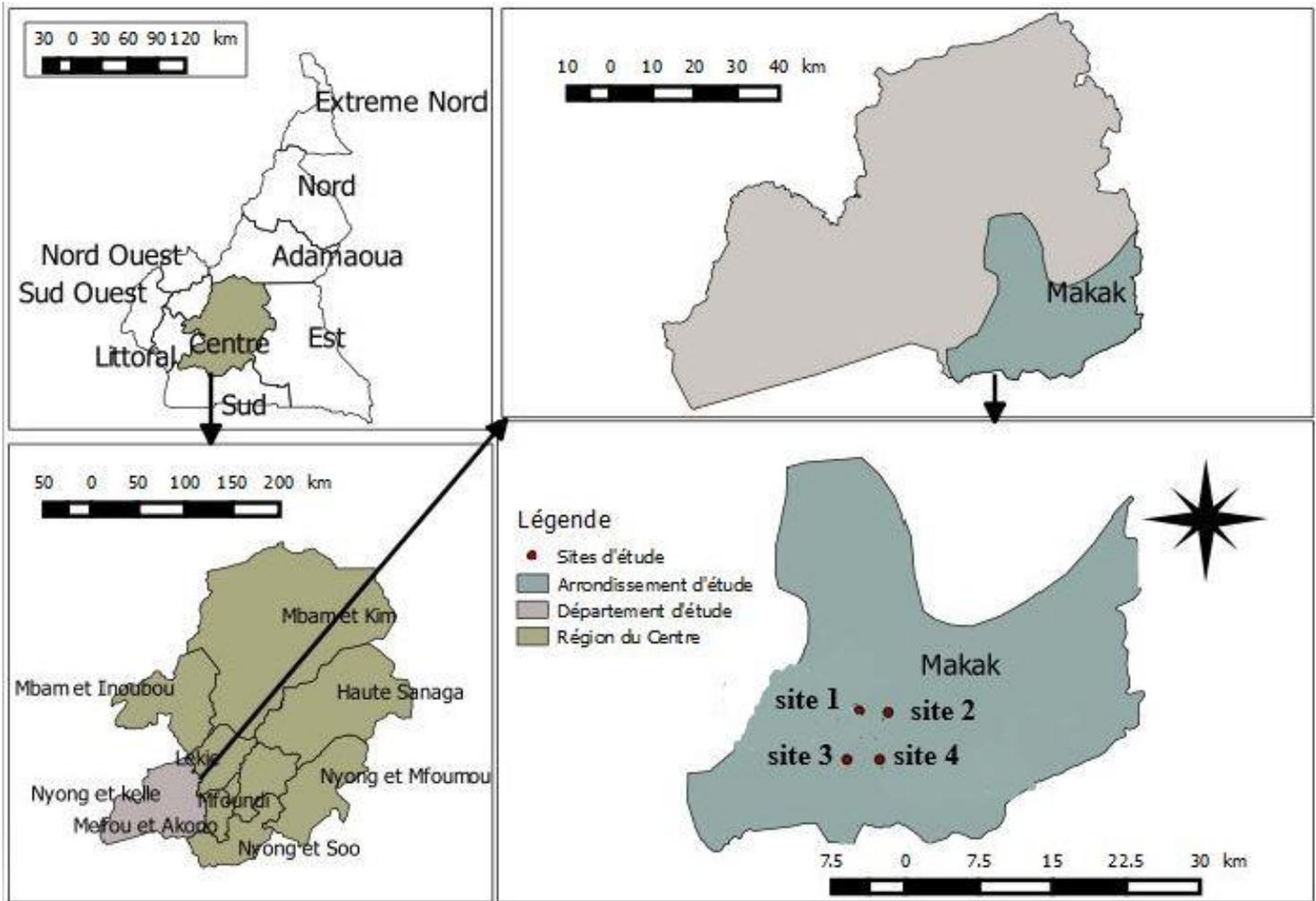


Figure 4: localisation de Malombo et des sites d'étude (carte de l'Institut National de Cartographie modifiée).

II.2 Matériels

II.2.1 Matériel animal

Le matériel animal était constitué de carcasses de porcs domestiques emballées et de l'arthropodofaune nécrophage y échantillonnée à chaque saison et site.

Le porc domestique (*Sus scrofa domesticus* L.) a été utilisé pour remplacer le modèle humain principalement en raison de leur similitude concernant la masse corporelle (poids du torse), la structure de la peau, le rapport graisse / muscle et la couverture pileuse (Schoenly *et al.*, 2007; Schotsmans *et al.*, 2012). Dans les études embryologiques mammaliennes, le porc a permis une bonne compréhension de l'embryologie humaine car du point de vue histologique, il possède des cellules semblables à celles de l'homme (Zuttion *et al.*, 2013). Dans le domaine de la xénotransplantation, il a été noté que la taille et le poids des organes du porc conviennent mieux à l'homme (Vanhove, 2002). La plus grande différence

entre le porc et l'homme porte sur la microstructure des os (Harsanyi, 1993; Schotsmans *et al.*, 2012). En définitive, les raisons de ce choix sont d'ordres anatomique, physiologique, immunologique, biochimique concernant le rein, la peau, le cœur, l'appareil digestif (Bustand & McClellan, 1965; Garcia-Rojo, 2004; Grassberger & Frank, 2004; Schoenly *et al.*, 2007; Swann *et al.*, 2010), juridique et économique (Marguenaud, 1992, 1998, 2010; Marguenaud & Demogue, 2015), éthiques (CCPA, 2009; 2010; AVMA, 2007; 2013; APP & PC, 2016).

II.2.2 Matériel technique

Il comprend un ipad mini retina modèle MD528LL/A, un stéréo microscope trioculaire numérique de marque Caltex Scientific, une loupe digitale de marque KKMOON, un aspirateur à bouche muni d'une poire, des pinces molles, des bottes, des gants, des masques à gaz, un équipement vestimentaire approprié, un pluviomètre électronique de marque Oregon, un thermomètre infra-rouge, un thermo-hygromètre, de l'éthylène glycol dilué à 5%, du savon, de l'eau savonnée, des contenants (pilluliers, boîtes étiquetées...), du bois, des grilles, de l'alcool à 70°, un crayon ordinaire, un bloc note et un GPS.

II.3 Méthodes

II.3.1 Evaluation des paramètres environnementaux et mesures de protection personnelle

A l'aide d'un thermo-hygromètre, la température atmosphérique et l'humidité relative ont été enregistrées à chaque visite, dans des endroits ombragés et non ombragés des sites d'étude. La température du substrat a été relevée aux heures d'échantillonnage à l'aide d'un thermomètre infrarouge. Les précipitations sur chaque site d'étude ont été mesurées à l'aide d'un pluviomètre électronique de marque Oregon. Les coordonnées géographiques des sites ont été prises à l'aide d'un téléphone portable nokia lumia 1520 muni de l'application GPX.

L'alcool éthylique à 70° a permis de se désinfecter en cas de légères blessures. Le port des vêtements appropriés (bottes, masques respiratoires, gants, etc.) a permis de protéger tout collecteur de données sur le terrain contre les agents pathogènes, les polluants ou les contaminants. De plus, des panneaux avertissant les passants des dangers potentiels de l'expérience ont été installés à environ dix mètres de chaque dispositif expérimental.

II.3.2 Mise à mort du porc domestique

Au total quatre porcs dont deux mâles et deux femelles en parfaite santé, provenant d'une ferme de l'arrondissement de Makak, âgés d'environ 6 mois et pesant entre 63 et 65 kg, ont servi de modèle de substitution à l'homme. Ce nombre d'animaux expérimentaux correspond au nombre de saisons climatiques successives dans une année à Malombo. Chaque porc a été examiné puis calmé à l'aide d'une surdose d'un anesthésique barbiturique (tranquillisant) administré par un vétérinaire (CCPA, 2010;

AVMA, 2013; APP & PC, 2016). Quelques minutes après cette injection, le porc a été strangulé à l'aide d'une corde pour confirmation du décès afin d'éviter toute effusion de sang sur le site d'expérimentation (figure 5). Immédiatement après l'euthanasie, chaque carcasse a été emballée dans un sac mortuaire biodégradable, de maille inférieure à 0,05 mm, afin d'éviter toute colonisation par des arthropodes avant qu'il ne soit déposé à même le sol sur le site expérimental. Cette manipulation a été réalisée dans un quadrat de 5 m x 5 m entouré d'une grille en treillis métallique de 1,70 m de haut, de 2 cm de diamètre de maille, afin d'éviter l'entrée des carnivores vertébrés (figure 6).



Figure 5: Porcs domestiques (a) après injection de barbiturique et (b) pendant la strangulation.



Figure 6: Dispositif expérimental: (a) quadrat entouré d'une grille en treillis et (b) avec le substrat.

II.3.3 Echantillonnage des arthropodes nécrophages

Les quatre carcasses de porcs ont été placées, chacune, dans l'un des quatre sites retenus pour l'expérimentation, en février, en fin mars, en juillet et en octobre de l'an 2018 respectivement à S₁, S₂, S₃ et S₄. Grâce à des aspirateurs à bouche muni d'une poire et à des pinces molles, des prélèvements des arthropodes présents sur les carcasses de porcs emballées ont été effectués. Cet échantillonnage d'une durée 1h30mn a été effectué tous les jours pendant 31 jours puis une fois par semaine à partir du 32^{ième} jour jusqu'au stade squelette du substrat. Toutefois, seuls les arthropodes nécrophages durant les 31 premiers jours à chaque saison/site ont été étudiés. Lors de chaque visite, le sac mortuaire a été rapidement ouvert pendant environ 30 secondes afin d'examiner la carcasse pour déterminer ses modifications corporelles. La dépouille a été photographiée puis le sac a été immédiatement refermé pour empêcher l'entrée des arthropodes. La détermination du stade de décomposition d'une carcasse de porc a suivi les critères définis par Anderson & VanLaerhoven (1996) et Koffi *et al.* (2017a); il s'agit de l'état frais, du gonflement, de la décomposition active, de la décomposition avancée et du stade squelette. L'ipad mini retina modèle MD528LL/A a permis de prendre des photos du substrat à divers stades de décomposition. Pour quantifier la colonisation des corps par les arthropodes, au minimum deux visites par jour ont été effectuées (du stade frais au stade squelette), c'est-à-dire entre 8 h et 10 h, 12 h et 14 h, enfin 16 h et 18 h pour les sites 1 et 2 donc en GSS et PSP entre 8 h et 10 h puis 14 h et 16 h pour les sites 3 et 4 donc en PSS et GSP. Au cours de cette étude de terrain, seuls les individus adultes ont été dénombrés.

Un dispositif d'échantillonnage à savoir les quadrats (figure 6) et deux techniques d'échantillonnage: la collecte manuelle et les pitfalls (figure 7) ont été utilisées pour récolter les arthropodes nécrophages associés aux carcasses de porcs emballées (Domingo & Alonso, 2010; Costa-Silva *et al.*, 2019). Les pitfalls sont des bocaux en plastique, de 15 cm de haut et 10 cm de diamètre, remplis au 3/4 d'une solution d'eau additionnée à 5g de savon liquide. Cette solution savonneuse a été changée après chaque collecte pendant 31 premiers jours dans chaque site, elle capture les arthropodes adultes. A partir du jour 32 post-mortem, l'eau savonneuse des pitfalls a été remplacée par une solution d'éthylène glycol diluée à 5% placée à l'intérieur des quadrats puisque les échantillonnages ont été une fois par semaine. Les spécimens recueillis dans ces pitfalls ont aussi été introduits dans des pilluliers préalablement étiquetés et contenant de l'alcool à 70° en vue d'études ultérieures au laboratoire. Un prélèvement direct des spécimens sur le sol a permis de compléter qualitativement et quantitativement cet échantillonnage. Ainsi, l'entomofaune nécrophage adulte a été prélevée dans la litière et sur les faces inférieures et supérieures du sac mortuaire.



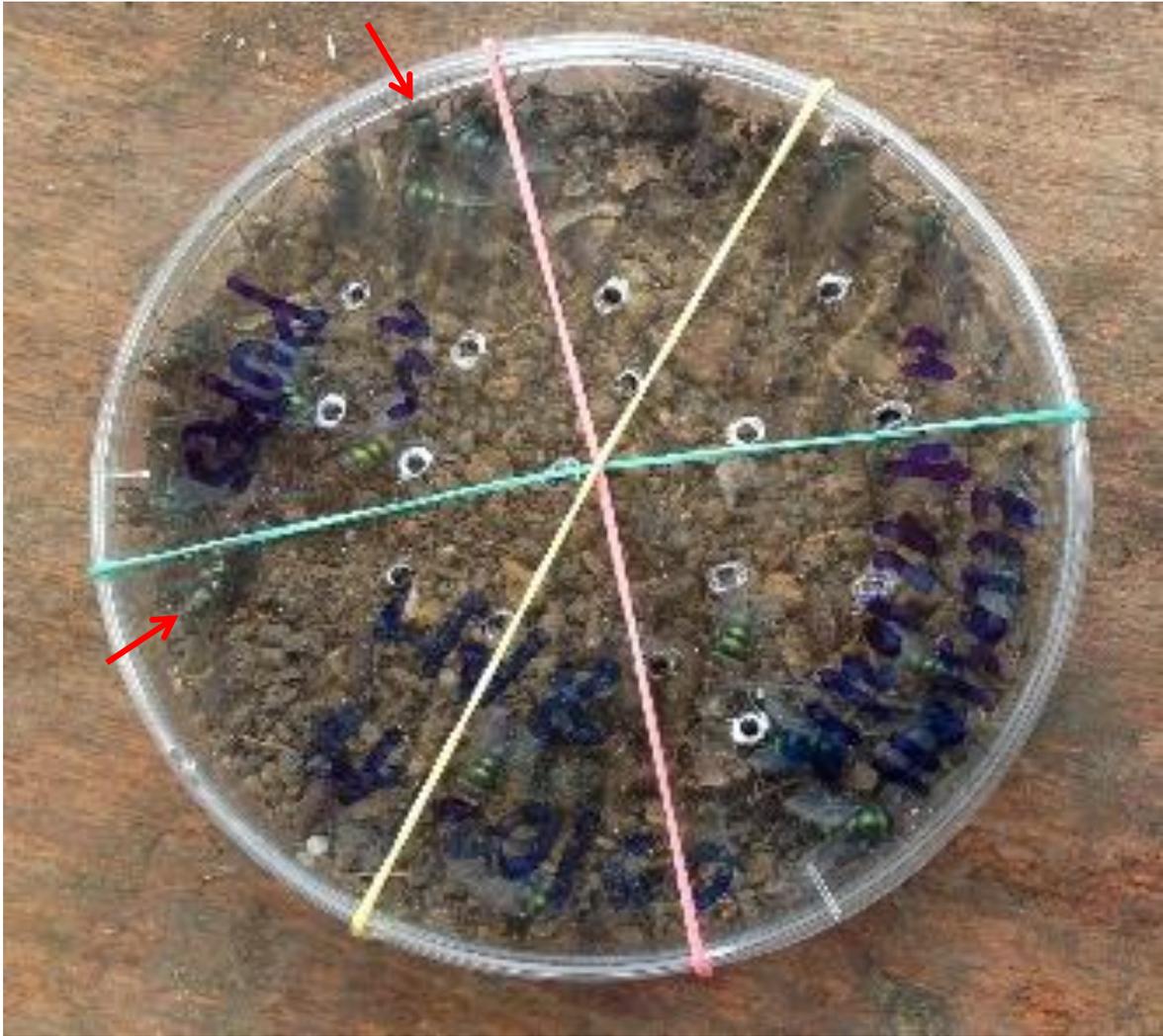
Figure 7: photo des pitfalls disposés autour du sac mortuaire.

II.3.4 Elevage des larves de Diptères et pupes

Les larves de Diptères recueillies dans les sacs mortuaires ont été élevées à température ambiante dans des boîtes de Pétri et nourries avec du filet de poisson frais jusqu'au stade pupal. Par la suite, les pupes ont été placées dans des boîtes contenant de la terre collectée aux alentours du sac mortuaire (puis tamisée) jusqu'à l'émergence des insectes adultes ou imagos (Figure 8) qui ont été ensuite fixés dans de l'alcool à 70°.



a



b

Figure 8: photos d'élevage (a) des larves de Diptères collectées à l'intérieur du sac mortuaire et (b) des pupes.

II.3.5 Identification et conservation des spécimens

Les arthropodes échantillonnés et conservés dans des tubes étiquetés contenant de l'alcool éthylique à 70° ont été acheminés au laboratoire. Au laboratoire, après les avoir débarrassés de la terre et des matières végétales, ces spécimens ont été transférés à nouveau dans des flacons contenant de l'alcool éthylique à 70°. Ils ont été montés sur des planches puis identifiés au rang d'espèce, si possible, grâce à un stéréo-microscope numérique (qui a également servi à la photographie des différents morphotypes) et aux clés dichotomiques appropriées et disponibles, à savoir:

- pour les Diptères, les clés de Delvare & Alberlenc (1989), Wyss & Cherix (2006), Couri (2007), Szpila (2009 et 2014), Irish *et al.* (2014), Vairo *et al.* (2015), Grzywacz *et al.* (2017) et Lutz *et al.* (2018);

- pour les Coléoptères, les clés de Delvare & Alberlenc (1989), Almeida & Mise (2009) et Aballay *et al.* (2014);

-pour les Myriapodes, les clés de Porat (1894), Krauss (1960 et 1966), Demange & Mauries (1975), Hamer (1999), Hoffman (2005) et Minelli (2011);

-pour les Hyménoptères, les clés d'Hölldobler & Wilson (1990), Bolton (1994, 2003 et 2014), Taylor (2010) et les clés d'identification de la base des données des fourmis africaines (www.antbase.org).

Les spécimens sont conservés au laboratoire de Zoologie du Département de Biologie et Physiologie Animales de l'Université de Yaoundé 1.

II.3.6 Analyse des données

Les données ont été saisies à l'aide du logiciel EXCEL 2016. Les logiciels Past version 3.12 et Estimates version 9.0 ont permis d'analyser et d'interpréter nos résultats en calculant les indices de diversité et de similitude (Colwell, 2013). Dans ce travail, l'abondance relative (Ar) est le rapport du nombre d'individus (n_i) d'une espèce donnée sur le nombre total (N) des individus de toutes les espèces combinées (Dajoz, 2000). Sa formule est : $Ar = (n_i/N) \times 100$. La richesse spécifique totale S d'un écosystème ou d'une communauté est le nombre d'espèces (ou de morphotypes) que l'on y recense quel que soit le nombre d'individus ou la masse que représente chaque taxon (Peet, 1974). L'indice de Shannon-Wiener (H') donne une idée de la diversité d'un peuplement en tenant compte non seulement de sa richesse spécifique mais aussi du nombre d'individus de chaque population (Frontier, 1983). Il varie de 0 (lorsqu'une seule espèce compose ou domine la communauté) à $\ln S$ (lorsque toutes les espèces ont la

même abondance); sa formule est: $H' = -\sum_{i=1}^S (p_i * \text{Log}_2 p_i)$, avec $P_i = n_i/N$ qui est la fréquence relative

de chaque espèce; n_i = Abondance de l'espèce i . L'indice d'équitabilité de Pielou (J') mesure la répartition des individus au sein d'un peuplement indépendamment de la richesse spécifique (Grall & Coïc, 2006); $J' = H'/H'_{\max}$ avec $H'_{\max} = \log S$. Sa valeur varie de 0 (lorsqu'un seul taxon domine dans le peuplement) à 1 (lorsqu'il y a équirépartition des individus des différents taxons). L'indice de Simpson (λ) représente la proportion de l'abondance d'une espèce i au sein d'un peuplement (Pearson & Rosenberg, 1978). Sa

formule est: $\lambda = \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i - 1)}{n(n - 1)}$ avec n_i = nombre d'individus de l'espèce i . n = nombre total d'individus

de l'échantillon. Il varie de 1(en cas de diversité maximale) à 0 en cas de diversité minimale. L'indice de dominance de Berger-Parker exprime l'importance de l'espèce dominante dans un peuplement; il permet de confirmer ou d'infirmer la diversité de Shannon. C'est le rapport de son abondance relative à l'abondance de toutes les espèces du milieu. Sa formule est: $ID_{\text{Parker - Berger}} = n_{\max} / N$ où N = nombre total d'individus de l'échantillon et n_{\max} = l'abondance de l'espèce la plus fréquente. Cet indice varie de

0 (en situation de forte diversité ou de dominance négligeable d'une quelconque espèce) à 1 lorsque la diversité est faible de dominance de l'espèce la plus fréquente (Cheng, 2004).

L'indice de dissimilitude de Bray-Curtis

Les indices de similitude ou de similarité évaluent la ressemblance entre deux relevés en faisant le rapport entre le nombre d'espèces communes aux deux relevés et celui des espèces propres à chaque relevé. Ces indices permettent de quantifier les différences qui existent entre plusieurs communautés d'organismes. Cependant, si certains indices considèrent les espèces de chaque milieu et celles qui sont communes à ces milieux, cas de l'indice de Jaccard et Sorensen (Krebs, 1994), d'autres prennent également en compte l'abondance totale des communautés; c'est le cas de l'indice de Bray-Curtis. Celui-ci se rapproche davantage de la véritable similarité des communautés. La distance de Bray-Curtis, ou l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis, évalue la dissemblance entre deux échantillons en terme d'abondance de taxons (phyla, espèces, etc...) présents dans chacun d'eux (Bray & Curtis, 1957; Legendre & Legendre, 1998). Sa formule est:

$$BC_{ij} = 1 - \frac{2C_{ij}}{S_i + S_j} \quad \text{où } C_{ij} \text{ est la somme des valeurs inférieures pour les espèces communes}$$

aux deux habitats ; S_i est le nombre total de spécimens recensés dans l'habitat i ; S_j est le nombre total de spécimens recensés dans l'habitat j . L'indice peut être simplifié sous la forme « $1 - 2C/2 - 1 - C$ » lorsque les abondances dans chaque habitat sont exprimées en proportions. Les deux formules donnent des résultats correspondants lorsque le nombre total de spécimens comptés dans les deux sites sont identiques. L'indice de dissimilarité de Bray-Curtis est compris entre 0 (lorsque les deux relevés ont la même composition taxinomique et tendent à partager les mêmes espèces de leur milieu) et 1 (lorsque les deux relevés sont totalement dissemblables, taxinomiquement différents et tendent à ne pas partager les mêmes espèces de leur milieu). Pour certains échantillons la ressemblance est intermédiaire, par exemple 0,5 (Bloom, 1981). Cet indice a été utilisé pour comparer les entomofaunes des différents stades de décomposition des porcs d'une part et, d'autre part, celles des différentes saisons/sites d'exposition des carcasses.

La constance des espèces (C) exprime la relation entre le nombre d'enquêtes (p) contenant un taxon étudié par rapport au nombre total d'enquêtes effectuées (P). Sa formule est: $C = (p/P) \times 100$. Si $C < 25\%$, l'espèce est accidentelle; si $25\% \leq C \leq 50\%$, elle est accessoire; enfin si $C > 50\%$ elle est constante (Dajoz, 2000).

Pour tous les tests les valeurs de probabilités P inférieures à 5% ont été considérées significatives.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Résultats

III.1.1 Conditions environnementales

Durant les périodes d'échantillonnage, les données abiotiques (précipitations, hygrométrie, température ambiante et celles du substrat à l'intérieur du sac mortuaire) ont varié entre les quatre saisons et donc sites d'étude. Ainsi sur une base nyctémerale, la température ambiante a fluctué entre 23,0 et 40,8°C, celle du substrat entre 19,5 et 56,0°C, l'humidité relative a varié de 42 à 92%, enfin les précipitations ont varié de 0 à 51mm. Les précipitations totales enregistrées lors de cette étude de 31 jours étaient de 88 mm, 171 mm, 20 mm enfin 172 mm respectivement pour GSS/S₁, PSP/S₂, PSS/S₃ et GSP/S₄.

III.1.2 Différents stades de décomposition des carcasses de porcs domestiques emballées

Six différents stades de décomposition des carcasses des porcs domestiques ont été reconnus lors de la présente étude, à savoir : le frais, le gonflement, le gonflement avancé, la putréfaction (décomposition active), la putréfaction avancée (décomposition avancée) et le squelette. La durée de l'état de décomposition du substrat a varié en fonction des saisons/sites d'expérimentation (tableau IV). Ainsi les trois premiers stades ont été fugaces (1 à 2 jours); la putréfaction ou décomposition active des porcs a été relativement courte (2 à 4 jours) sauf en grande saison des pluies/site 4 où elle s'est réalisée en 9 jours. Le stade de putréfaction avancée ou de décomposition avancée a été relativement long (6 à 22 jours). Enfin le stade squelette a eu une longue durée; il a été quelque peu précoce en PSP/site 2 (à partir du 11^{ième} jour) et en PSS/site 3 (à partir du 16^{ième} jour) mais tardif en GSP/site 4 (à partir du 29^{ième} jour) et en GSS/site 1 (à partir du 30^{ième} jour).

Tableau IV: intervalle post-mortem en fonction des stades de décomposition des carcasses de porcs domestiques emballées durant les quatre saisons et dans les quatre habitats de la forêt de Malombo

Evolution cadavérique	Intervalle post mortem par habitat			
	GSS / Site 1	PSP / Site 2	PSS / Site 3	GSP / Site 4
Frais	J ₁ (1 jour)	J ₁ (1 jour)	J ₁ (1 jour)	J ₁ (1 jour)
Gonflement	J ₂ - J ₃ (2 jours)	J ₂ (1/2 journée)	J ₂ - J ₃ (2 jours)	J ₂ - J ₃ (2 jours)
Gonflement avancé	J ₄ (1 jour)	J ₂ (1/2 soirée)	J ₄ (1 jour)	J ₄ (1 jour)
Putréfaction (Décomposition active)	J ₅ - J ₈ (4 jours)	J ₃ - J ₄ (2 jours)	J ₅ - J ₈ (4 jours)	J ₅ - J ₁₃ (9 jours)
Putréfaction avancée (Décomposition avancée)	J ₉ - J ₃₀ (22 jours)	J ₅ - J ₁₀ (6 jours)	J ₉ - J ₁₅ (7 jours)	J ₁₄ - J ₂₈ (15 jours)
Squelette	J ₃₀ - F	J ₁₁ - F	J ₁₆ - F	J ₂₉ - F

J_i = numéro d'ordre du jour d'expérimentation; F = arrêt de l'expérience soit au jour 31; GSP: grande saison des pluies; GSS: grande saison sèche; PSP: petite saison des pluies; PSS: petite saison sèche.

III.1.3 Description des états des cadavres durant les quatre saisons dans les différents sites d'expérimentation

III.1.3.1 Stade frais

Ce stade (figure 9) est également dit initial. Au cours de cette période, aucune odeur caractéristique ne s'est dégagée d'un corps; seuls quelques arthropodes y ont été observés. Dès la 2^{ème} heure post-mortem, la rigidité cadavérique ou raidissement musculaire progressif avait commencé.



Figure 9: Porcs emballé au stade frais.

III.1.3.2 Stade de gonflement

Cette étape est survenue dès le deuxième jour après la mise à mort des porcs quels que soient les saisons et sites (figure 10). Lors de cette phase, le cadavre devient moins rigide; un léger gonflement de l'abdomen de l'animal commence et se poursuit au cours des heures suivantes. Des taches verdâtres ou violacées qualifiées de lividités apparaissent sur la face abdominale (figure 10a); elles sont suivies d'un écoulement des liquides corporels, plus précisément d'une mousse blanchâtre parsemée de sang au niveau du groin (figure 10b); une odeur modérée se dégage progressivement du corps. Les sacs contenant les dépouilles étaient envahis par les Diptères Calliphoridae, Fannidae, Muscidae ... Ce stade était marqué par un début de pontes d'œufs en grappes par les insectes aux endroits où les liquides corporels des substrats s'écoulaient à l'extérieur des sacs (figure 10c). Par contre à l'intérieur du sac, aucun œuf ni larve de Diptère n'a été observé sur les carcasses. Ces insectes sont apparus plus tôt sur les cadavres en GSS et PSP qu'en PSS et GSP.



a



b



c

Figure 10: Stade de gonflement montrant (a) les lividités sur la face abdominale, (b) un début d'écoulement des liquides corporels sous forme de mousse au niveau du groin et (c) les premières pontes sur le sac mortuaire .

III.1.3.3 Stade de gonflement avancé

Tant en saisons sèches qu'en saisons pluvieuses, le gonflement avancé des cadavres des porcs est survenu quelques minutes à quelques heures après le deuxième stade de décomposition (figure 11). Les cadavres ont augmenté d'environ 1,2 à 1,4 fois leur volume (estimé par la circonférence de l'abdomen).

Le ballonnement de l'abdomen a atteint son maximum au point de ne plus laisser des traces de doigts lors du toucher; on y observait une multiplication du nombre de lividités et de leur étendue, une augmentation de la quantité des écoulements des liquides corporels noirâtres au niveau des cavités ouvertes, c'est-à-dire du groin, du nez, des oreilles, de l'anus et de l'orifice génital (figure 11a), la présence des œufs et des larves L1 de Diptères dans le groin du substrat (figure 11b). L'odeur de putréfaction était plus accentuée. Ce stade était marqué par une intensification des pontes d'œufs des Calliphoridae, Muscidae, Fannidae ... et un début de celles des Stratiomyidae sur les parties où les liquides corporels des substrats s'écoulaient à l'extérieur des sacs mortuaires qui étaient envahis par les Diptères (figure 11c).



a



b



c

Figure 11: Stade de gonflement avancé: (a) augmentation du volume du substrat avec écoulement des liquides corporels noirâtres au niveau du groin, (b) apparition des premières larves L1 des Diptères dans la bouche du cadavre (c) pontes des Diptères à l'extérieur du sac mortuaire.

III.1.3.4 Stade de putréfaction ou de décomposition active

Le stade de putréfaction était caractérisé par la présence de beaucoup plus de larves L1 et L2 de Diptères sur le substrat et sur le sac mortuaire dès le troisième jour en PSP et dès le cinquième jour lors des autres saisons en (figure 12). Au cours de ce stade, une intensification des pontes d'œufs des Calliphoridae et des Stratiomyidae a été notée en-dessous et aux alentours des sacs mortuaires, aux endroits où les liquides corporels du substrat s'écoulaient; la présence des œufs et larves L1 sur ces sacs était aussi remarquable. Des gaz et une forte odeur émanaient des sacs à leur ouverture; les cadavres étaient massivement couverts des larves de Diptères qui émergeaient des corps (environ 80% de larves L1, L2, L3 des Calliphoridae et 20% de celles des Stratiomyidae des stades L2 et L3). Une liquéfaction des tissus et une déflation continue des carcasses étaient perceptibles. La durée de la décomposition active a été de 4 jours en grande et petite saisons sèches, c'est-à-dire dans les sites 1 et 3, de 2 jours en petite saison de pluies donc dans le site 2, enfin de 9 jours en grande saison de pluies dans le site 4. Au cours de cette dernière saison, ou disons simplement dans les zones forestières ayant une couverture végétale dense comme en grande saison sèche, les larves des premiers colonisateurs sont restées sur les cadavres en décomposition plus longtemps que sur ceux des porcs sacrifiés exposés sous canopée ouverte (PSP et PSS).



a



b



c

Figure 12: Etapes successives du stade de décomposition active d'un porc emballé; observer l'abondance de larves de Diptères.

III.1.3.5 Stade de putréfaction avancée ou de décomposition avancée

Cette phase a été relativement plus courte, soit six et sept jours, en PSP et PSS donc dans les sites à couverture végétale peu dense (S₂ et S₃), et plus longue, soit 15 et 22 jours, en GSS et GSP dans les sites S₄ et S₁ à couverture végétale dense (figure 13). A ce stade, en-dessous et aux alentours des sacs mortuaires, là où les liquides corporels du substrat s'écoulaient, on observait de nombreuses pontes d'œufs des Calliphoridae et Stratiomyidae comparativement à celles d'autres Diptères, ainsi que la présence des œufs et larves L1, L2 et L3 sur les sacs mortuaires. A l'intérieur de ceux-ci, par contre, les pupes des Calliphoridae étaient collées sur les parois; les cadavres étaient totalement couverts des larves L2 et L3 de Diptères, des Calliphoridae (environ 80%) et des larves L1, L2 et L3 des Stratiomyidae (environ 20%) durant les premières phases du stade de décomposition avancée et inversement à la fin. Le nombre de ces organismes a augmenté au fil du temps; par la suite une séparation de la peau d'avec les os visibles aux extrémités du corps a suivi. Les cadavres avaient alors un aspect mou et pâteux à certaines parties. Leur odeur avait légèrement diminué.

Dans les habitats à canopée dense (tant en grande saison sèche qu'en grande saison pluvieuse, donc dans les sites 1 et 4), 48 à 72 heures après des précipitations journalières supérieures ou égale à 10 mm après les dépouilles présentaient un aspect moisi accompagné d'un important décès de larves de divers stades à l'intérieur du sac, lorsque ces précipitations n'étaient pas régulières (ceci était plus marqué en GSS/site 1 et très moindre qu'en GSP/site 4) car, malgré la présence partielle du squelette à certaines parties du corps, la chair était boueuse/pâteuse, ralentissant la décomposition (figure 13a, c et e).

Par contre dans les habitats à canopée ouverte, c'est-à-dire en PSP dans le site 2 et en PSS donc dans le site 3, les dépouilles présentaient un aspect non moisi; la chair était plus ou moins sèche avec un aspect de barbecue (figure 13b, d et f). Les premiers arthropodes qui ont colonisé les cadavres ont disparu progressivement pour faire place à de nouvelles espèces. Au cours des deux saisons sèches, on a noté une faible abondance des larves de Diptères (Calliphoridae, Muscidae, Fannidae ...) mais un grand nombre de celles des Stratiomyidae, des Mésostigmates et des Coléoptères. Pendant ce stade et au cours des quatre saisons, le début de cette décomposition complète était dû aux larves d'autres Diptères (70%) et de Stratiomyidae (30%); au fur et à mesure de l'évolution de cette décomposition avancée, les carcasses ont été plus envahies des larves de Stratiomyidae (environ 70%) et d'autres Diptères (environ 30%) jusqu'à l'apparition du squelette (figure 13).



a



b



c



d



e



f

Figure 13: Evolution du stade de décomposition avancée (a, c et e) sous une canopée dense et (b, d et f) sous canopée ouverte.

. A partir du cinquième stade de décomposition, les larves des Stratiomyidae ont été responsables de la liquéfaction de la chair et des organes mous jusqu'à l'apparition des squelettes complets des carcasses.

III.1.3.6 Stade de squelette

Ce stade est caractérisé par l'apparition complète des os sous l'action des conditions environnementales et celle des arthropodes nécrophages, notamment des larves des Stratiomyidae et des Calliphoridae (figure 14). A cette étape, les carcasses ne dégagent que peu d'odeur; elles n'étaient composées au début que d'os, de fragment de peau, de chair liquéfiée et des poils (figure 14a, b, c et d), enfin d'os et poils à la dernière étape (figure 14f). Les pupes de Calliphoridae étaient collées aux parois internes des sacs mortuaires. Les larves de Stratiomyidae, qui y étaient majoritaires (plus de 70%), disparaissaient progressivement pour laisser place aux Mésostigmates lorsque tout devenait sec.



a



b



c



d



f

Figure 14: Phases successives du stade squelette des carcasses de porcs domestiques décomposés (a et c) sous canopée dense, (b et d) sous canopée ouverte et (f) jusqu'au dessèchement complet de la carcasse.

III.1.4 Composition taxinomique globale de la nécroentomofaune collectée dans la localité de Malombo

Ce travail a permis de récolter 46082 arthropodes répartis dans 3 classes (les Hexapodes, les Aranéides et les Myriapodes), 12 ordres, 48 familles et 158 espèces ou morphotypes. L'ordre décroissant d'abondance relative des groupes au sein de l'arthropodofaune nécrophage totale était le suivant: 64,1% de Diptères (29545 individus), 20,03% de Mésostigmates (9231 individus), 7,45% de Hyménoptères (3432 individus), 5,2% de Coléoptères (2403 individus), 0,72% de Hémiptères (370 individus), 0,67% d'Orthoptères (307 individus), 0,66% d'Aranéides (304 individus), 0,65% de Lépidoptères (301 individus), 0,28% de Spirostreptidés (130 individus), 0,13% d'Isoptères (61 individus), 0,07% de Dictyoptères (33 individus), enfin 0,01% de Polydesmidés soit 5 individus (Tableau V).

Tableau V: composition taxinomique globale des arthropodes récoltés sur les carcasses de porcs domestiques emballées à Malombo entre Janvier et Novembre 2018

Classe	Ordre	Nombre de familles	Nombre d'espèces	Abondance (n _i)	Abondance relative (%)
Hexapoda	Diptera	18	70	29545	64,1
	Hymenoptera	4	30	3432	7,45
	Coleoptera	8	31	2403	5,2
	Hemiptera	3	9	330	0,72
	Orthoptera	4	5	307	0,67
	Lepidoptera	1	2	301	0,65
	Dictyoptera	1	1	33	0,07
	Isoptera	1	1	61	0,13
	Araneida	Mesostigmata	1	1	9231
Araneae		2	2	304	0,66
Myriapoda	Spirostreptida	3	2	130	0,28
	Polydesmida	2	3	5	0,01
Total général		48	158	46082	100

III.1.5 Composition taxinomique en fonction des stades de décomposition

A l'état frais, 4 individus (0,01% de toute l'entomofaune recensée) tous des Hémiptères ont été échantillonnés, soit 1 Alydidae et 3 Pentatomidae.

Lors du gonflement des cadavres, 1185 spécimens (2,57% de l'échantillonnage) ont été récoltés. Il s'agit de 9 ordres et de 26 familles. Les Diptères ont représenté 91,1% du peuplement, suivis des Hyménoptères (3,12%).

Au cours du stade de gonflement avancé, 4215 insectes (9,15% de l'échantillon total) ont été prélevés. Il s'agit de 10 ordres, 31 familles. Les Diptères ont constitué 95,6% du peuplement; ils étaient suivis par les Hyménoptères (2,32% de l'entomofaune à ce stade).

Au stade suivant de décomposition active, 10264 arthropodes, soit 22,27% de l'échantillon, regroupés dans 38 familles de 11 ordres, ont été récoltés. Les Diptères ont représenté 67% de l'entomofaune à ce stade dominé par les Muscidae (16,77%) et les Calliphoridae (14,36%). Ils étaient suivis par les Coléoptères (14,4%) plus représentés par les Staphylinidae (10,64%) et les Scarabaeidae (3,06%). Au troisième rang se trouvaient les Mésostigmates (11,69% des spécimens échantillonnés pendant ce stade) uniquement représentés par les Macrochelidae.

Durant le stade de décomposition avancée, 21962 arthropodes regroupés dans 44 familles de 12 ordres ont été récoltés. Une proportion des Diptères de 61,2% a été obtenue en cette phase. Les Fannidae et les Muscidae totalisaient respectivement 17,33% et 8,89% de l'entomofaune à ce stade. En deuxième, troisième et quatrième rangs se plaçaient les Mésostigmates (20,84%), les Hyménoptères (11,30%) et les Coléoptères (3,62%).

Enfin le stade squelette a permis d'obtenir 8452 spécimens (18,34% de l'échantillon total) qui ont été rangés dans 40 familles de 11 ordres. Les Diptères ont encore dominé le peuplement avec une proportion de 48,8% de spécimens; la famille la plus représentée était celle des Calliphoridae avec 13,17%. Aux deuxième et troisième rangs se plaçaient les Mésostigmates (40,63%) et les Hyménoptères (4,28%) comme le montre le tableau VI.

En terme de richesse spécifique, 2, 60, 66, 110, 123 et 94 espèces (ou morphotypes) ont été successivement dénombrées au cours des différents stades de décomposition. Ainsi les peuplements arthropodiens se sont enrichis au fur et à mesure qu'avancait la dégradation des dépouilles. Cette richesse en taxons a été maximale lors de la décomposition avancée avec 12 ordres, 44 familles et 123 espèces. Elle était suivie, par un ordre décroissant, de celles des phases de décomposition active, de squelette, de gonflement avancé, de gonflement et de l'état frais.

Tableau VI: composition taxinomique et abondance de la nécro-arthropodofaune en fonction des stades de décomposition des carcasses de porcs emballées dans la forêt de Malombo

Evolution Cadavérique							
Ordres et Familles	Frais	Gonflement	Gonflement avancé	Décomposition active	Décomposition avancée	Squelette	Abondance
Araneae		12	9	44	117	122	304
Fam.ind1		12	9	44	117	115	297
Fam.ind2						7	7
Coleoptera		8	35	1479	795	86	2403
Cleridae				1	13	1	15
Fam.ind1				13	9	3	25
Dermestidae				5	4		9
Histeridae		2	1	54	35	2	94
Scarabaeidae		1	4	314	90	4	413
Silphidae					1		1
Staphylinidae		5	29	1092	642	76	1844
Trogidae			1		1		2
Dictyoptera		4	3	5	19	2	33
Blattidae		4	3	5	19	2	33
Diptera		1080	4028	6872	13439	4126	29545
Anthomyiidae			6	31	5	3	45
Calliphoridae		752	2897	1474	1036	1113	7272
Culicidae					137	2	139
Fam.ind.1		2	58	145	350	92	647
Drosophilidae		7	149	591	976	205	1928
Dryomyzidae			3	58	145		206
Fannidae		65	309	1048	3807	344	5573
Muscidae		35	295	1721	1953	283	4287
Phoridae		82	86	252	148	24	592
Piophilidae		1					1
Psychodidae				100	1576	532	2208
Rhiniidae		12	29	189	495	164	889
Sarcophagidae		1	18	10	49	32	110
Sciaridae		8	4	36	79	28	155
Sepsidae		3	30	281	207	41	562
Sphaeroceridae		2	16	101	196	134	449
Stratiomyidae		51	52	347	946	459	1855
Syrphidae		59	76	488	1334	670	2627
Hemiptera	4	3	7	62	232	22	330
Alydidae	1		1	49	181	6	238
Fam.ind1		2	2	4	17	2	27
Pentatomidae	3	1	4	9	34	14	65
Hymenoptera		37	98	453	2482	362	3432
Apidae		2	9	24	127	35	197
Braconidae						1	1

Suite du tableau VI

Formicidae	35	89	419	2345	324	3212
Fam.ind1			10	10	2	22
Isoptera				1	60	61
Fam.ind1				1	60	61
Lepidoptera	10	7	98	157	29	301
Fam.ind1	10	7	98	157	29	301
Mesostigmata		19	1200	4578	3434	9231
Macrochelidae		19	1200	4578	3434	9231
Orthoptera	27	6	39	92	143	307
Gryllidae	27	5	29	73	124	258
Gryllotalpidae			2	2		4
Fam.ind1		1	8	8	18	35
Tetrigidae				9	1	10
Polydesmida			2	3		5
Cryptodesmidae			2	2		4
Pyrgodesmidae				1		1
Spirostreptida	4	3	10	47	66	130
Odontopygidae	4	3	8	44	64	123
Spirostreptidae			2	3	1	6
Trigoniuludae					1	1
Total général	4	1185	4215	10264	21962	46082

III.1.6 Composition taxinomique de l'entomofaune nécrophage adulte en fonction des saisons/sites et des états de décomposition des porcs

La composition de la nécro-entomofaune et son abondance taxinomique ont varié en fonction des différentes saisons au cours de la décomposition des porcs.

III.1.6.1 Grande saison sèche / Site 1

Au total 11890 individus de la nécro-entomofaune appartenant à 12 ordres, 38 familles et 101 espèces (ou morphotypes) ont été recensés pendant la grande saison sèche/site 1.

Aucun arthropode n'a été collecté au stade frais.

Au stade de gonflement, 468 individus appartenant à 3 ordres et à 9 familles ont été échantillonnés. Les Calliphoridae, plus abondants, ont représenté 3,17 % de cette nécro-entomofaune.

Au stade de gonflement avancé, 164 spécimens rangés dans 6 ordres et à 11 familles ont composé le peuplement d'arthropodes. Les Calliphoridae ont été plus abondants (0,74 %).

Au stade de putréfaction, ou décomposition active, la nécro entomofaune était constituée de 922 individus appartenant à 8 ordres et à 19 familles. Les Macrochelidae ont été plus représentés avec 4,13% des effectifs.

Au stade de putréfaction avancée, ou décomposition avancée, 9616 individus appartenant à 12 ordres et à 38 familles ont été recensés. Les Macrochelidae ont dominé ce peuplement avec une proportion de 19,68%.

Enfin au stade squelette, 720 individus rangés dans 9 ordres et dans 23 familles ont été échantillonnés. Avec une proportion de 1,45 %, les Macrochelidae ont été plus représentés (tableau VII).

Dans l'ensemble, le nombre d'ordres et des familles ainsi que l'abondance des escouades ont augmenté au fur et à mesure qu'avancait la décomposition du corps; les maxima étaient notés lors de la putréfaction avancée pendant cette grande saison sèche.

Tableau VII: composition des escouades d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc domestique emballée en GSS/site1 à Malombo

Escouades	Période post-mortem	Etat de décomposition du corps et abondance des arthropodes	Familles identifiées (abondance)
1 ^{ère}	J ₁	Frais Aucun individu échantillonné	-
2 ^{ème}	J ₂ - J ₃	Gonflement 468 individus échantillonnés	Calliphoridae (377), Fannidae (33), Syrphidae (22), Stratiomyidae (20), Rhiniidae (8), Odontopygidae (3), Formicidae (2), Muscidae (2), Diptera fam.ind1 (1)
3 ^{ème}	J ₄	Gonflement avancé 164 individus échantillonnés	Calliphoridae (88), Syrphidae (23), Macrochelidae (19), Stratiomyidae (13), Rhiniidae (9), Odontopygidae (3), Fannidae (2), Hemiptera fam.ind1 (2), Formicidae (2), Apidae (2), Histeridae (1)
4 ^{ème}	J ₅ - J ₈	Putréfaction 922 individus échantillonnés	Macrochelidae (491), Syrphidae (111), Calliphoridae (75), Stratiomyidae (74), Formicidae (48), Alydidae (40), Rhiniidae (32), Staphylinidae (10), Histeridae (6), Muscidae (6), Fannidae (5), Apidae (3), Odontopygidae (3), Dermestidae (2), Hemiptera fam.ind1 (2), Sepsidae (1), Gryllidae (1), Lepidoptera fam.ind1 (1), Orthoptera fam.ind1 (1)
5 ^{ème}	J ₉ - J ₃₀	Putréfaction avancée 9616 individus échantillonnés	Macrochelidae (2340), Fannidae (1595), Formicidae (1192), Muscidae (889), Psychodidae (862), Syrphidae (487), Stratiomyidae (445), Calliphoridae (343), Staphylinidae (255), Drosophilidae (210), Rhiniidae (172), Alydidae (158), Diptera fam.ind1 (147), Sphaeroceridae (123), Apidae (59), Sepsidae (53), Lepidoptera fam.ind1 (52), Sciaridae (40), Araneae fam.ind1 (37), Odontopygidae (30), Scarabaeidae (25), Histeridae (21), Phoridae (17), Gryllidae (17), Sarcophagidae (11), Blattidae (10), Pentatomidae (7), Hemiptera fam.ind1 (3), Tetrigidae (3), Orthoptera fam.ind1 (2), Cleridae (2), Dermestidae (2), Cryptodesmidae (2), Trogidae (1), Silphidae (1), Anthomyiidae (1), Gryllotalpidae (1), Isoptera fam.ind1 (1)
6 ^{ème}	J ₃₀ - F	Squelette 720 individus échantillonnés	Macrochelidae (172), Psychodidae (112), Fannidae (109), Muscidae (84), Stratiomyidae (53), Syrphidae (40), Drosophilidae (33), Formicidae (22), Diptera fam.ind1 (17), Staphylinidae (14), Sepsidae (14), Lepidoptera fam.ind1 (12), Rhiniidae (7), Araneae fam.ind1 (6), Alydidae (5), Calliphoridae (4), Sarcophagidae (4), Sphaeroceridae (4), Sciaridae (2), Apidae (2), Odontopygidae (2), Gryllidae (1), Orthoptera fam.ind1 (1)

J_i = numéro d'ordre du jour d'expérimentation; F = arrêt de l'expérience à J₃₁

III.1.6.2 Petite saison des pluies / Site 2

Au total 10581 individus de la nécro-entomofaune appartenant à 10 ordres, 38 familles et 88 espèces (ou morphotypes) ont été recensés pendant la petite saison de pluie/site 2.

Au stade frais, 4 arthropodes appartenant à 1 ordre et à 2 familles ont été échantillonnés. Les Pentatomidae, plus nombreux, ont été représentés avec 0,03% de cette nécroentomofaune.

Au stade de gonflement, 17 spécimens appartenant à 4 ordres et à 6 familles ont composé le peuplement d'arthropodes. Les Calliphoridae, plus abondants, ont représenté 0,06% de cette entomofaune nécrophage.

Au stade de gonflement avancé, 208 arthropodes appartenant à 4 ordres et à 10 familles ont été récoltés. Les Calliphoridae ont été plus abondants avec une proportion de 1,39%.

Au stade de putréfaction, ou de décomposition active, la nécroentomofaune était constituée de 1906 individus appartenant à 7 ordres et à 19 familles. Les Calliphoridae ont été plus représentés avec une abondance relative de 7,17%.

Au stade de putréfaction avancée, ou de décomposition avancée, 4205 individus appartenant à 10 ordres et à 30 familles ont été recensés. Les Fanniidae ont dominé le peuplement avec une proportion de 17,32%.

Au stade squelette, 4241 individus rangés dans 9 ordres et dans 31 familles ont été échantillonnés. Les Macrochelidae, avec une proportion de 16,53%, ont été plus représentés (tableau VIII).

En petite saison des pluies/site 2, l'abondance des escouades, les nombres des taxons (ordres et familles) ont augmenté aussi suivant l'évolution de la dégradation du corps. Les nécroentomofaunes des stades de putréfaction avancée et de squelette ont été plus populeuses.

Tableau VIII: composition des escouades d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc domestique emballée en PSP/site 2 à Malombo

Escouades	Période post-mortem	Etat du corps à l'intérieur du sac et abondance des arthropodes	Familles identifiées (abondance)
1 ^{ère}	J ₁	Frais 4 individus échantillonnés	Pentatomidae (3), Alydidae (1)
2 ^{ème}	J ₂ (journée)	Gonflement 17 individus échantillonnés	Calliphoridae (6), Araneae fam.ind1 (3), Formicidae (3), Fannidae (3), Alydidae, Hemiptera fam.ind1, Pentatomidae (1), Stratiomyidae (1),
3 ^{ème}	J ₂ (soirée)	Gonflement avancé 208 individus échantillonnés	Calliphoridae (147), Fannidae (33), Formicidae (9), Muscidae (7), Araneae fam (4), Pentatomidae (3), Diptera fam.ind1 (2), Apidae (1), Phoridae (1), Drosophilidae (1)
4 ^{ème}	J ₃ – J ₄	Putréfaction 1906 individus échantillonnés	Calliphoridae (759), Fannidae (530), Muscidae (174), Phoridae (75), Rhiniidae (75), Drosophilidae (56), Syrphidae (48), Formicidae (45), Stratiomyidae (43), Diptera fam.ind1 (41), Macrochelidae (33), Sphaeroceridae (30), Sepsidae (19), Apidae (7), Pentatomidae (4), Orthoptera fam.ind1 (4), Alydidae (3), Odontopygidae (2), Cryptodesmidae (1)
5 ^{ème}	J ₅ – J ₁₀	Putréfaction avancée 4205 individus échantillonnés	Fannidae (1833), Muscidae (663), Macrochelidae (539), Culicidae (137), Syrphidae (137), Stratiomyidae (133), Drosophilidae (125), Calliphoridae (123), Staphylinidae (76), Rhiniidae (69), Phoridae (62), Diptera fam.ind1 (61), Formicidae (50), Sepsidae (50), Apidae (48), Sphaeroceridae (27), Alydidae (16), Hemiptera fam.ind1 (12), Odontopygidae (9), Pentatomidae (9), Araneae fam.ind1 (6), Cleridae (6), Orthoptera fam.ind1 (4), Sarcophagidae (3), Scarabaeidae (2), Sciaridae (1), Dermestidae (1), Histeridae (1), Lepidoptera fam.ind1 (1), Pyrgodesmidae (1)
6 ^{ème}	J ₁₁ - F	Squelette 4241 individus échantillonnés	Macrochelidae (1749), Calliphoridae (943), Syrphidae (256), Stratiomyidae (194), Fannidae (181), Muscidae (169), Psychodidae (154), Drosophilidae (136), Sphaeroceridae (105), Formicidae (80), Odontopygidae (61), Rhiniidae (49), Apidae (32), Diptera fam.ind1 (28), Sepsidae (21), Sarcophagidae (15), Phoridae (13), Staphylinidae (11), Pentatomidae (11), Araneae fam.ind1 (9), Sciaridae (5), Gryllidae (3), Orthoptera fam.ind1 (3), Anthomyiidae (3), Lepidoptera fam.ind1 (3), Culicidae (2), Araneide fam.ind1 (1), Cleridae (1), Coleoptera fam.ind1 (1), Braconidae (1), Hemiptera fam.ind1 (1)

J_i = numéro d'ordre du jour d'expérimentation; F = arrêt de l'expérience à J₃₁

III.1.6.3 Petite saison sèche / Site 3

Un total de 9352 individus de la nécro-entomofaune appartenant à 12 ordres, 40 familles et 91 espèces (ou morphotypes) ont été recensés pendant la petite saison sèche/site 3.

Aucun arthropode n'a été collecté au stade frais.

Au stade de gonflement, 394 individus appartenant à 8 ordres et à 19 familles ont été échantillonnés. Les Calliphoridae ont été plus représentés avec une proportion de 2,81% de cette nécroentomofaune.

Au stade de gonflement avancé, 1930 spécimens appartenant à 7 ordres et à 21 familles ont composé le peuplement d'arthropodes. Les Calliphoridae ont été plus abondants (13,44%).

Au stade de putréfaction, la nécroentomofaune était constituée de 1361 individus répartis en 11 ordres et 33 familles. Les Muscidae ont été plus représentés avec 2,05%.

Au stade de putréfaction avancée, 2950 individus appartenant à 10 ordres et à 36 familles ont été recensés. Les Drosophilidae ont dominé ce peuplement avec une proportion de 5,41%.

Enfin au stade squelette, 2717 individus rangés dans 11 ordres et dans 34 familles ont été échantillonnés. Les Macrochelidae, avec une proportion de 12,90%, ont été plus représentés (tableau IX).

L'évolution de l'abondance des escouades et des nombres de taxons (ordres et familles) des arthropodes nécrophages en PSS/site 3 a été semblable à celle observée en PSP, c'est-à-dire au site 2.

Tableau IX: composition des escouades d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc domestique emballée en PSS/site 3 à Malombo

Escouades	Période post-mortem	Etat du corps à l'intérieur du sac et abondance des arthropodes	Familles identifiées (abondance)
1 ^{ère}	J ₁	Frais Aucun individu échantillonné	-
2 ^{ème}	J ₂ – J ₃	Gonflement 394 individus échantillonnés	Calliphoridae (263), Syrphidae (22), Fannidae (19), Gryllidae (19), Stratiomyidae (16), Formicidae (9), Muscidae (9), Lepidoptera fam.ind1 (7), Araneae fam.ind1 (6), Sciaridae (6), Phoridae (5), Rhiniidae (4), Apidae (2), Hemiptera fam.ind1 (2), Staphylinidae (1), Odontopygidae (1), Sepsidae (1), Diptera fam.ind1 (1), Sarcophagidae (1)
3 ^{ème}	J ₄	Gonflement avancé 1930 individus échantillonnés	Calliphoridae (1257), Muscidae (177), Fannidae (171), Drosophilidae (118), Syrphidae (39), Diptera fam.ind1 (35), Sepsidae (30), Stratiomyidae (24), Formicidae (14), Sarcophagidae (13), Staphylinidae (10), Rhiniidae (9), Phoridae (8), Apidae (6), Gryllidae (5), Lepidoptera fam.ind1 (4), Araneae fam.ind1 (4), Scarabaeidae (3), Alydidae (1), Pentatomidae (1), Orthoptera fam.ind1 (1)
4 ^{ème}	J ₅ – J ₈	Putréfaction 1361 individus échantillonnés	Muscidae (192), Macrochelidae (175), Syrphidae (149), Drosophilidae (138), Staphylinidae (100), Fannidae (98), Stratiomyidae (89), Sepsidae (85), Formicidae (83), Calliphoridae (53), Diptera fam.ind1 (49), Rhiniidae (34), Lepidoptera fam.ind1 (25), Gryllidae (18), Araneae fam.ind1 (14), Sciaridae (11), Apidae (8), Sarcophagidae (6), Phoridae (5), Pentatomidae (5), Scarabaeidae (4), Dermestidae (3), Sphaeroceridae (2), Blattidae (2), Anthomyiidae (2), Alydidae (2), Orthoptera fam.ind1 (2), Histeridae (1), Cleridae (1), Hemiptera fam.ind1 (1), Cryptodesmidae (1), Odontopygidae (2), Spyrostreptidae (1)
5 ^{ème}	J ₉ – J ₁₅	Putréfaction avancée 2950 individus échantillonnés	Drosophilidae (506), Macrochelidae (401), Calliphoridae (349), Formicidae (322), Muscidae (223), Fannidae (215), Syrphidae (185), Stratiomyidae (118), Diptera fam.ind1 (98), Staphylinidae (75), Lepidoptera fam.ind1 (70), Rhiniidae (65), Sepsidae (65), Araneae fam.ind1 (56), Gryllidae (41), Sarcophagidae (31), Psychodidae (20), Sciaridae (20), Pentatomidae (18), Apidae (14), Scarabaeidae (13), Sphaeroceridae (12), Alydidae (6), Coleoptera

Suite du tableau IX

			fam.ind1 (5), Cleridae (4), Spyrostreptidae (3), Tetrigidae (3), Phoridae (2), Hemiptera fam.ind1 (2), Blattidae (2), Anthomyiidae (1), Dermestidae (1), Histeridae (1), Gryllotalpidae (1), Orthoptera fam.ind1 (1), Odontopygidae (1)
6 ^{ème}	J ₁₆ - F	Squelette 2717 individus échantillonnés	Macrochelidae (1206), Psychodidae (236), Syrphidae (232), Formicidae (169), Stratiomyidae (148), Gryllidae (119), Araneae fam.ind1 (99), Calliphoridae (93), Rhiniidae (61), Isoptera fam.ind1 (60), Fannidae (50), Diptera fam.ind1 (42), Drosophilidae (35), Staphylinidae (32), Muscidae (30), Sciaridae (20), Sphaeroceridae (15), Orthoptera fam.ind1 (14), Sarcophagidae (13), Lepidoptera fam.ind1 (12), Sepsidae (6), Araneide fam.ind1 (6), Phoridae (3), Pentatomidae (3), Coleoptera fam.ind1 (2), Histeridae (2), Hymenoptera fam.ind1 (2), Apidae (1), Scarabaeidae (1), Blattidae (1), Tetrigidae (1), Spyrostreptidae (1), Alydidae (1), Hemiptera fam.ind1 (1)

J_i = numéro d'ordre du jour d'expérimentation; F = arrêt de l'expérience à J₃₁

III.1.6.4 Grande saison des pluies / Site 4

Un total de 14259 individus de la nécro-entomofaune, appartenant à 10 ordres, 39 familles et 109 espèces (ou morphotypes) ont été récoltés pendant la grande saison des pluies/site 4.

Il faut noter ici qu'aucun individu n'a été collecté au stade frais.

Au stade de gonflement, 306 individus appartenant à 7 ordres et à 19 familles ont été échantillonnés. Les Calliphoridae ont été plus représentés avec une proportion de 0,74% de cette nécroentomofaune.

Au stade de gonflement avancé, 1913 spécimens appartenant à 6 ordres et à 21 familles ont composé le peuplement d'arthropodes. Les Calliphoridae ont été plus abondants (9,87%).

Au stade de putréfaction, la nécroentomofaune était constituée de 6075 individus appartenant à 10 ordres et à 34 familles. Les Muscidae ont été plus représentés avec 9,39%.

Au stade de putréfaction avancée, 5191 individus appartenant à 10 ordres et à 33 familles ont été recensés. Les Macrochelidae ont dominé ce peuplement avec une proportion de 9,1%.

Enfin au stade squelette, 774 individus rangés dans 9 ordres et dans 21 familles ont été échantillonnés. Les Macrochelidae, avec une proportion 2,15%, ont été plus représentés (tableau X).

Pendant la grande saison des pluies/site 4, les peuplements des arthropodes nécrophages des stades de décomposition active et de décomposition avancée ont été semblables en termes des nombres de taxons (ordres et familles) bien que l'abondance des escouades ait été plus grande au stade de décomposition active.

Tableau X: composition des escouades d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc domestique emballée en GSP/site 4 à Malombo

Escouades	Période post-mortem	état du corps à l'intérieur du sac et abondance des arthropodes	Familles identifiées (abondance)
1 ^{ère}	J ₁	Frais Aucun individu échantillonné	
2 ^{ème}	J ₂ – J ₃	Gonflement 306 individus échantillonnés	Calliphoridae (106), Phoridae (77), Muscidae (24), Formicidae (21), Syrphidae (15), Stratiomyidae (14), Fannidae (10), Gryllidae (8), Drosophilidae (7), Staphylinidae (4), Blattidae (4), Araneae fam.ind1 (3), Lepidoptera fam.ind1 (3), Histeridae (2), Sciaridae (2), Sepsidae (2), Sphaeroceridae (2), Scarabaeidae (1), Piophilidae (1)
3 ^{ème}	J ₄	Gonflement avancé 1913 individus échantillonnés	Calliphoridae (1405), Muscidae (111), Fannidae (103), Phoridae (77), Formicidae (64), Drosophilidae (30), Diptera fam.ind1 (21), Staphylinidae (19), Sphaeroceridae (16), Stratiomyidae (15), Syrphidae (14), Rhiniidae (11), Anthomyiidae (6), Sarcophagidae (5), Sciaridae (4), Blattidae (3), Dryomyzidae (3), Lepidoptera fam.ind1 (3), Trogidae (1), Scarabaeidae (1), Araneae fam.ind1 (1)
4 ^{ème}	J ₅ – J ₁₃	Putréfaction 6075 individus échantillonnés	Muscidae (1339), Staphylinidae (982), Calliphoridae (587), Macrochelidae (501), Fannidae (415), Drosophilidae (397), Scarabaeidae (310), Formicidae (243), Syrphidae (180), Sepsidae (176), Phoridae (172), Stratiomyidae (141), Psychodidae (100), Rhiniidae (91), Lepidoptera fam.ind1 (72), Sphaeroceridae (69), Dryomyzidae (58), Diptera fam.ind1 (55), Histeridae (47), Araneae fam.ind1 (30), Anthomyiidae (29), Sciaridae (25), Coleoptera fam.ind1 (13), Gryllidae (10), Hymenoptera fam.ind1 (10), Apidae (6), Alydidae (4), Sarcophagidae (4), Blattidae (3), Gryllotalpidae (2), Orthoptera fam.ind1 (1), Hemiptera fam.ind1 (1), Odontopygidae (1), Spyrostreptidae (1)
5 ^{ème}	J ₁₄ – J ₂₈	Putréfaction avancée 5191 individus échantillonnés	Macrochelidae (1298), Formicidae (781), Psychodidae (694), Syrphidae (525), Stratiomyidae (250), Staphylinidae (236), Calliphoridae (221), Rhiniidae (189), Muscidae (178), Fannidae (164), Dryomyzidae (145), Drosophilidae (135), Phoridae (67), Scarabaeidae (50), Diptera fam.ind1 (44), Sepsidae (39), Sphaeroceridae (34), Lepidoptera fam.ind1 (34), Sciaridae (18), Araneae fam.ind1 (18), Gryllidae (15), Histeridae (12), Hymenoptera fam.ind1 (10), Blattidae (7), Apidae (6), Odontopygidae (4), Coleoptera fam.ind1 (4), Sarcophagidae (4), Tetrigidae (3), Anthomyiidae

Suite du tableau X

			(3), Cleridae (1), Alydidae (1), Orthoptera fam.ind1 (1)
6 ^{ème}	J ₂₉ - F	Squelette 774 individus échantillonnés	Macrochelidae (307), Syrphidae (142), Calliphoridae (73), Stratiomyidae (64), Formicidae (53), Rhiniidae (47), Psychodidae (30), Staphylinidae (19), Sphaeroceridae (10), Phoridae (8), Diptera fam.ind1 (5), Fannidae (4), Scarabaeidae (3), Lepidoptera fam.ind1 (2), Odontopygidae (1), Trigonuludae (1), Blattidae (1), Gryllidae (1), Sciaridae (1), Araneae fam.ind1 (1), Drosophilidae (1)

J_i = numéro d'ordre du jour d'expérimentation; F = arrêt de l'expérience à J₃₁

En général, c'est-à-dire pendant les quatre saisons successives/dans les quatre sites d'étude exploités, les abondances des escouades d'arthropodes échantillonnés sur les cadavres de porcs d'une part et, d'autre part, les nombres des taxons (ordres, familles et espèces) ont été largement plus élevés aux stades de décomposition active et de décomposition avancée, et un peu moins au stade squelette (tableau XI).

Tableau XI: synthèse des abondances des escouades et des nombres de taxons de la nécro-arthropodofaune en fonction des stades de dégradation des substrats emballés et des saisons/sites à Malombo entre Janvier et Novembre 2018

Evolution cadavérique	Malombo				Abondance (n _i)
	GSS (Site 1)	PSP (Site 2)	PSS (Site 3)	GSP (Site 4)	
	Ab/Ord/Fam/ Esp	Ab/Ord/Fam/ Esp	Ab/Ord/Fam/ Esp	Ab/Ord/Fam/ Esp	
Frais	0/ 0/ 0/ 0	4/ 1/ 2/ 2	0/ 0/ 0/ 0	0/ 0/ 0/ 0	4
Gonflement	468/ 3/ 9/ 25	17/ 4/ 6/ 7	394/ 8/ 19/ 36	306/ 7/ 19/ 34	1185
Gonflement avancé	164/ 6/ 11/ 24	208/ 4/ 10/ 24	1930/ 7/ 21/ 45	1913/ 6/ 21/ 41	4215
Décomposition active	922/ 8/ 19/ 41	1906/ 7/ 19/ 42	1361/ 11/ 33/ 68	6075/ 10/ 34/ 90	10264
Décomposition avancée	9616/ 12/ 38/ 95	4205/ 10/ 30/ 65	2950/ 10/ 36/ 72	5191/ 10/ 33/ 74	21962
Squelette	720/ 9/ 23/ 45	4241/ 9/ 31/ 63	2717/ 11/ 34/ 64	774/ 9/ 21/ 41	8452
Total général	11890	10581	9352	14259	46082

Ab : abondance, Ord : ordre, Fam : famille, Esp : espèce/morphotype

III.1.7 Constance des espèces d'arthropodes nécrophages échantillonnés sur les carcasses de porcs emballées domestiques pendant les différentes saisons (dans les sites)

Les Diptères, les Mésostigmates et les Hyménoptères ont eu des espèces constantes ($C > 50\%$) pendant les quatre saisons. Les Coléoptères ont eu des espèces constantes en GSS, PSS et GSP et des espèces accessoires ($C \leq 50\%$) en PSP. Les Hémiptères ont eu des espèces constantes en GSS (dans le site 1), accessoires en PSP et PSS, et accidentelles ($C < 25\%$) en GSP. Les Orthoptères contenaient des espèces constantes en PSS et GSP, accessoires en GSS et accidentelle en PSP. Les Araneae ont rendu des espèces constantes en GSS, PSS et GSP, et accessoires en PSP. Pour les Lépidoptères, les espèces étaient constantes en PSS et GSP, accessoires en GSS et accidentelles en PSP. Les Spirostreptidés ont donné des espèces constantes en GSS et PSP, accessoires en PSS et accidentelles en GSP. Dans le cas des Isoptères, leurs espèces étaient accidentelles en GSS et PSS, puis absentes en PSP et GSP. Les Dictyoptères ont eu des espèces accidentelles en GSS et PSS, et accessoires en GSP ils étaient absents en PSP. Enfin les Polydesmidés et les Dictyoptères ont rendu des espèces accidentelles en GSS, PSP et PSS ($C < 25\%$), ils étaient absents en GSP (tableau XII).

Tableau XII: taux d'occurrence des différents ordres des arthropodes nécrophages colonisant les carcasses de porcs emballées par saison en fonction des saisons ou sites

Différents Ordres	Saisons (Sites)			
	GSS (Site 1)	PSP (Site 2)	PSS (Site 3)	GSP (Site 4)
Diptera	96,77% **	96,77% **	96,77% **	96,77% **
Mesostigmata	90,32% **	90,32% **	87,10% **	87,10% **
Hymenoptera	93,55% **	74,19% **	83,87% **	90,32% **
Coleoptera	87,10% **	45,16% *	80,65% **	93,55% **
Hemiptera	90,32% **	45,16% *	48,39% *	9,68%
Orthoptera	35,48% *	22,58%	70,97% **	54,84% **
Araneae	51,61% **	29,03%	90,32% **	67,74% **
Lepidoptera	41,94% *	6,45%	58,06% **	70,98% **
Spirostreptida	74,19% **	80,64% **	25,80%	22,58%
Isoptera	3,23%	-	3,22%	-
Dictyoptera	22,58%	-	12,90%	38,71% *
Polydesmida	6,45%	6,45%	3,22%	-

** : Ordres constantes; * : Ordres accessoires

Il est apparu que 93,44% des 61 espèces (ou morphotypes) retrouvées seules et pendant une seule saison (dans un seul site) étaient accidentelles, tout comme 83,24% de celles qu'on a échantillonnées uniquement pendant deux saisons (dans deux sites). Un total de 76 espèces/morphotypes, soit 48,1% de toutes celles qui ont été échantillonnées, sont apparues dans trois ou quatre sites. De plus, 68% des espèces (ou morphotypes) recensées pendant trois ou quatre saisons (dans 3 ou 4 sites) ont changé de statut entre ces habitats (tableau XIII).

Tableau XIII: taux d'occurrence des différentes espèces d'arthropodes nécrophages colonisant les carcasses de porcs emballées par saison (par site)

		Malombo			
Familles	Espèces	GSS / Site 1	PSP / Site 2	PSS / Site 3	GSP / Site 4
Alydidae	Alydidae gen sp.	87,1 **	16,13	19,35	9,68
Anthomyiidae	Anthomyiidae gen sp.	3,23	6,45	6,45	41,94 *
Apidae	<i>Apis mellifera</i>	74,19 **	41,94 *	32,26 *	32,26 *
Araneae ind	Araneae gen sp.	51,61 **	25,81 *	90,32 **	64,52 **
Araneae ind1	Araneae gen sp.1		3,23	3,23	
Blattidae	Blattidae gen sp.	19,35		12,9	38,78 *
Braconidae	Braconidae gen sp.1		3,23		
Calliphoridae	<i>Calliphora vicina</i>	29,03 *	19,35	19,35	9,68
	<i>Calliphora vomitoria</i>	29,03 *	41,94 *	25,81 *	6,45
	<i>Chrysomya albiceps</i>	35,48 *	25,81 *	25,81 *	41,94 *
	<i>Chrysomya bezziana</i>	6,45	38,78 *	38,78 *	
	<i>Chrysomya chloropyga</i>				25,81 *
	<i>Chrysomya inclinata</i>	9,68	9,68	6,45	12,9
	<i>Chrysomya laxifrons</i>	16,13	16,13	19,35	9,68
	<i>Chrysomya marginalis</i>	25,81 *	32,26 *	16,13	3,23
	<i>Chrysomya megacephala</i>	9,68	12,9	19,35	6,45
	<i>Chrysomya putoria</i>	54,84 **	22,58	16,13	32,26 *
	<i>Chrysomya</i> sp.1				6,45
	<i>Chrysomya</i> sp.2	48,39 *	41,94 *	58,06 **	48,39 *
	<i>Lucilia cuprina</i>	45,16 *	29,03 *	19,35	25,81 *
	<i>Lucilia infernalis</i>	6,45	3,23		3,23
	<i>Lucilia sericata</i>	19,35	25,81 *	25,81 *	3,23
Cleridae	<i>Necrobia rufipes</i>	3,23	12,9	6,45	
	<i>Necrobia</i> sp.	3,23		6,45	
Coleoptera ind	Coleoptera gen sp.1		3,23	6,45	
	Coleoptera gen sp.2				9,68
	Coleoptera gen sp.3			3,23	12,9
	Coleoptera gen sp.4			3,23	6,45
Cryptodesmidae	<i>Aporodesmus gabonicus</i>			3,23	
	<i>Aporodesmus</i> sp.	3,23	3,23		
Culicidae	Culicidae gen sp.1		12,9		
	Culicidae gen sp.2		16,13		
	Culicidae gen sp.3		9,68		
	Culicidae gen sp.4		3,23		
	Culicidae gen sp.5		3,23		
Dermestidae	<i>Dermestes</i> sp.	6,45	3,23	9,68	
	<i>Dermestes</i> sp.1	3,23			
Diptera ind	Diptera gen sp.1	58,06 **	19,35	41,94 *	74,19 **
	Diptera gen sp.2	19,35	70,97 **	83,87 **	
	Diptera gen sp.3				6,45
	Diptera gen sp.4				6,45
Drosophilidae	Drosophilidae gen sp.1	9,68			

Suite du tableau XIII

Drosophilidae	Drosophilidae gen sp.2	45,16 *	25,81 *	41,94 *	
	Drosophilidae gen sp.3	61,29 **	70,97 **	70,97 **	83,87 **
Dryomyzidae	Dryomyzidae gen sp.				70,97 **
	<i>Fannia canicularis</i>	67,74 **	35,48 *	3,23	51,61 **
Fannidae	<i>Fannia</i> sp.1	67,74 **	38,78 *	51,61 **	77,42 **
	<i>Fannia</i> sp.2	87,1 **	51,61 **	70,97 **	77,42 **
	<i>Aenictus weissi</i>				3,23
	<i>Camponotus brutus</i>	3,23	6,45	16,13	35,48 *
	<i>Camponotus flavomarginatus</i>			3,23	
	<i>Camponotus ocvapinensis</i>	16,13			
	<i>Cataulacus weissi</i>	9,68	3,23		3,23
	<i>Crematogaster (Sphaerocrema)</i> sp.1	64,52 **			
	<i>Dorylus nigricans</i>	16,13	19,35	25,81 *	51,61 **
	<i>Hypoponera cognata</i>	3,23			16,13
	<i>Myrmecaria opaciventris</i>	45,16 *	29,03 *	3,23	83,87 **
	<i>Odontomachus tryglotides</i>	9,68	9,68	61,29 **	6,45
Formicidae	<i>Oecophylla longinoda</i>				6,45
	<i>Pachycondyla tarsata</i>	3,23	16,13	41,94 *	
	<i>Pheidole mayri</i>		3,23		
	<i>Pheidole megacephala</i>	67,74 **	29,03 *	6,45	51,61 **
	<i>Pheidole mentita</i>	3,23			
	<i>Pheidole</i> sp.1				3,23
	<i>Pheidole speculifera</i>	3,23			
	<i>Pheidole tarsata</i>		3,23	3,23	
	<i>Technomyrmex</i> sp.1				3,23
	<i>Tetramorium guineensis</i>		3,23		
	<i>Tetraponera anthracina</i>			3,23	
Gryllidae	Gryllidae gen sp.	25,81 *	6,45	87,1 **	48,39 *
Gryllotalpidae	Gryllotalpidae gen sp.	3,23		3,23	3,23
	Hemiptera gen sp.1	9,68	19,35	9,68	
	Hemiptera gen sp.2			6,45	
Hemiptera ind	Hemiptera gen sp.3	3,23			
	Hemiptera gen sp.4	3,23			
	Hemiptera gen sp.5	3,23			3,23
Histeridae	<i>Hister</i> sp.	51,61 **	3,23	9,68	58,06 **
	Hymenoptera gen sp.1			3,23	
	Hymenoptera gen sp.2				6,45
	Hymenoptera gen sp.3				6,45
Hymenoptera ind	Hymenoptera gen sp.4				9,68
	Hymenoptera gen sp.5				19,35
	Hymenoptera gen sp.6				9,68
	Hymenoptera gen sp.7				3,23
Isoptera ind	Isoptera gen sp.	3,23		3,23	
Lepidoptera ind	Lepidoptera gen sp.1				6,45
	Lepidoptera gen sp.2	41,94 *	6,45	58,06 **	64,52 **
Macrochelidae	<i>Macrocheles spp</i>	90,32 **	90,32 **	87,1 **	87,1 **
	<i>Atheta</i> sp.	12,9	3,23	32,26 *	80,65 **

Suite du tableau XIII

	<i>Azelia</i> sp.1	54,84 **	29,03 *	12,9	9,68
	<i>Azelia</i> sp.2	19,35	3,23		
	<i>Azelia</i> sp.3	6,45			
	<i>Hemipyrellia ferdinanca</i>	19,35	12,9	9,68	6,45
	<i>Hemipyrellia pulchra</i>	6,45			
Muscidae	<i>Hydrotaea robineau</i>	38,78 *	41,94 *	41,94 *	74,19 **
	<i>Hydrotaea</i> sp.1				6,45
	<i>Hydrotaea</i> sp.2	54,84 **	25,81 *		22,58
	<i>Neomyia cornicina</i>	90,32 **	32,26 *	41,94 *	32,26 *
	<i>Neomyia</i> sp.				3,23
	<i>Thricops</i> sp.	64,52 **	64,52 **	64,52 **	67,74 **
	Muscidae gen sp.1				3,23
	Muscidae gen sp.2				3,23
	Muscidae gen sp.3				29,03 *
	Muscidae gen sp.4				3,23
Odontopigidae	<i>Haplothysanus chapellei</i>	74,19 **	80,65 **	12,9	16,13
Orthoptera ind	Orthoptera gen sp.	12,9	16,13	38,78 *	6,45
Phoridae	Phoridae gen sp.	22,58	48,39 *	35,48 *	87,1 **
Piophilidae	Piophilidae gen sp.				3,23
Psychodidae	Psychodidae gen sp.	54,84 **	54,84 **	38,78 *	61,29 **
Pyrgodesmidae	<i>Urodesmus cornutus</i>		3,23		
Rhiniidae	Rhiniinae gen sp.	93,55 **	77,42 **	87,1 **	90,32 **
Sarcophagidae	Sarcophagidae gen sp.	25,81 *	3,23	29,03 *	16,13
Scarabaeidae	Scarabaeidae gen sp.1			3,23	
	Scarabaeidae gen sp.2	29,03 *	3,23	19,35	61,29 **
	Scarabaeidae gen sp.3	16,13	3,23	16,13	54,84 **
	Scarabaeidae gen sp.4			6,45	64,52 **
Sciaridae	Sciaridae gen sp.1	3,23			
	Sciaridae gen sp.2	19,35	19,35	29,03 *	29,03 *
	Sciaridae gen sp.3	35,48 *		51,61 **	35,48 *
Scutellarinae	Scutellarinae gen sp.1	16,13	29,03 *	12,9	
	Scutellarinae gen sp.2	3,23	22,58	38,78 *	
	Scutellarinae gen sp.3	3,23		9,68	
Sepsidae	Sepsidae gen sp.	54,84 **	48,39 *	48,39 *	61,29 **
Silphidae	Silphidae gen sp.	3,23			
Sphaeroceridae	Sphaeroceridae gen sp.	61,29 **	74,19 **	41,94 *	80,65 **
Spirostreptidae	Spirostreptidae gen sp.			12,90	3,23
Stratiomyidae	<i>Hermetia illucens</i>	93,55 **	77,42 **	87,1 **	93,55 **
	Stratiomyidae gen sp.1	93,55 **	93,55 **	90,32 **	93,55 **
	Stratiomyidae gen sp.2			6,45	
	Stratiomyidae gen sp.3		3,23		
Staphylinidae	<i>Aleochara puberula</i>		16,13	22,58	
	<i>Aleochara (Aleochara)</i> sp.	61,29 **		9,68	48,39 *
	<i>Aleochara (Coprochara)</i> sp.1	61,29 **	16,13	58,06 **	80,65 **
	<i>Aleochara (Coprochara)</i> sp.2	22,58	22,58	16,13	77,42 **
	<i>Aleochara (Coprochara)</i> sp.3	19,35		3,23	54,84 **
	<i>Aleochara (Coprochara)</i> sp.4	25,81 *	16,13	58,06 **	35,48 *

Suite du tableau XIII

	<i>Aleochara (Coprochara) sp.5</i>	38,78 *	19,35	29,03 *	12,9
	<i>Aleochara (Xenochara) sp.</i>		3,23		
	<i>Eulissus chalybaeus</i>				9,68
Staphylinidae	<i>Neohypnus sp.1</i>	12,9	12,9	19,35	54,84 **
	<i>Neohypnus sp.2</i>	12,9	3,23		12,9
	<i>Neohypnus sp.3</i>		3,23		22,58
	<i>Platydracus chrysotrichopterus</i>	22,58		9,68	12,9
	<i>Platydracus scabrosus</i>	32,26 *			32,26 *
	Staphylininae gen sp.1				6,45
	<i>Asarkina africana</i>	93,55 **	67,74 **	87,1 **	90,32 **
	<i>Senaspis dibapha</i>	93,55 **	93,55 **	87,1 **	93,55 **
	Syrphidae gen sp.1				3,23
	Syrphidae gen sp.2				3,23
Syrphidae	Syrphidae gen sp.3	74,19 **	58,06 **	83,87 **	77,42 **
	Syrphidae gen sp.4	19,35		19,35	3,23
	Syrphidae gen sp.5	3,23	25,81 *		51,61 **
	Syrphidae gen sp.6			3,23	22,58
	Syrphidae gen sp.7	6,45			
Tetrigidae	Tetrigidae gen sp.1				6,45
	Tetrigidae gen sp.2	6,45		9,68	3,23
Trigoniuludae	<i>Trinciulus laevicolis</i>				3,23
Trogidae	<i>Omorgus sp.</i>	3,23			3,23

** : Espèces constantes; * : Espèces accessoires

III.1.8 Espèces d'arthropodes récoltées à chaque stade de décomposition de la carcasse de porc emballée dans la localité de Malombo et utilisables à la détermination de l'IPM

Les tableaux XIV, XV, XVI et XVII ci-dessous présentent les espèces d'arthropodes nécrophages échantillonnées à chaque stade de décomposition d'un substrat emballé dans la localité de Malombo. Il faut noter que seules les espèces constantes et/ou accessoires ont été prises en compte à chaque saison/sites.

Tableau XIV: espèces d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc emballée durant la GSS/Site 1 à Malombo en fonction de l'évolution cadavérique

Nécro-arthropodofaune	Evolution cadavérique					
	Frais (J ₁)	Gonflement (J ₂ - J ₃)	Gonflement avancé (J ₄)	Décomposition active (J ₅ - J ₈)	Décomposition avancée (J ₉ - J ₃₀)	Squelette (J ₃₀ - F)
Araneae						
Araneae fam						
Araneae gen sp.					C ₂	
Coleoptera						
Histeridae						
<i>Hister</i> sp.					C ₂	
Scarabaeidae						
Scarabaeidae gen sp.2					A ₂	
Staphylinidae						
<i>Aleochara (aleochara)</i> sp.					C ₂	
<i>Aleochara (coprochara)</i> sp.1					C ₂	
<i>Aleochara (coprochara)</i> sp.4					A ₂	
<i>Aleochara (coprochara)</i> sp.5					A ₂	
<i>Platydracus scabrosus</i>					A ₂	
Diptera						
Calliphoridae						
<i>Calliphora vicina</i>		A ₂				
<i>Calliphora vomitoria</i>		A ₂	A ₂		A ₂	
<i>Chrysomya albiceps</i>		A ₂			A ₂	
<i>Chrysomya marginalis</i>					A ₂	
<i>Chrysomya putoria</i>		C ₃	C ₂	C ₂	C ₂	
<i>Chrysomya</i> sp.2				C ₃		
<i>Lucilia cuprina</i>		A ₂	A ₂	A ₂	A ₂	
Diptera fam						
Diptera gen sp.1					C ₃	
Drosophilidae						
Drosophilidae gen sp.2					A ₂	
Drosophilidae gen sp.3					C ₃	C ₂
Fanniidae						
<i>Fannia canicularis</i>		C ₂			C ₃	
<i>Fannia</i> sp.1					C ₃	
<i>Fannia</i> sp.2		C ₂			C ₄	C ₂
Muscidae						
<i>Azelia</i> sp.1					C ₂	C ₂
<i>Hydrotaea robineau</i>					A ₂	A ₂
<i>Hydrotaea</i> sp.2					C ₃	
<i>Neomyia cornicina</i>				C ₂	C ₃	
<i>Thricops</i> sp.					C ₃	C ₂
Psychodidae						
Psychodidae gen sp.					C ₄	C ₃
Rhiniidae						

Suite du tableau XIV

Rhiniinae gen sp.		C ₂		C ₃	
Sarcophagidae					
Sarcophagidae gen sp.				A ₂	
Sciaridae					
Sciaridae gen sp.3				A ₂	
Sepsidae					
Sepsidae gen sp.				C ₂	C ₂
Sphaeroceridae					
Sphaeroceridae gen sp.				C ₃	
Stratiomyidae					
<i>Hermetia illucens</i>		C ₂		C ₃	C ₂
Stratiomyidae gen sp.1	C ₂	C ₂		C ₃	C ₂
Syrphidae					
<i>Asarkina africana</i>		C ₂		C ₃	
<i>Senaspis dibapha</i>		C ₂		C ₃	C ₂
Syrphidae gen sp.3		C ₂		C ₂	
<hr/>					
Hemiptera					
Alydidae					
Alydidae gen sp.		C ₂		C ₃	
<hr/>					
Hymenoptera					
Apidae					
<i>Apis mellifera</i>				C ₂	
Formicidae					
<i>Crematogaster (sphaerocrema) sp.1</i>				C ₂	
<i>Myrmicaria opaciventris</i>		A ₂		A ₂	A ₂
<i>Pheidole megacephala</i>				C ₃	
<hr/>					
Lepidoptera					
Lepidoptera fam					
Lepidoptera gen sp.1				A ₂	A ₂
<hr/>					
Mesostigmata					
Macrochelidae					
<i>Macrocheles sp.</i>	C ₂		C ₃	C ₄	C ₃
<hr/>					
Orthoptera					
Gryllidae					
Gryllidae gen sp.				A ₂	
<hr/>					
Spirostreptida					
Odontopygidae					
<i>Haplothysanus chapellei</i>				C ₂	
<hr/>					

-C₁: espèce constante mais avec une abondance très faible $9 \leq n \leq 11$; C₂: espèce constante ayant une abondance faible $12 \leq n \leq 99$; C₃: espèce constante ayant une abondance élevée $100 \leq n \leq 499$; C₄: espèce constante ayant une abondance très élevée $500 \leq n \leq 3000$.

-A₁: espèce accessoire mais avec une abondance très faible $9 \leq n \leq 11$; A₂: espèce accessoire ayant une abondance faible $12 \leq n \leq 99$; A₃: espèce accessoire ayant une abondance élevée $100 \leq n \leq 499$; A₄: espèce accessoire ayant une abondance très élevée $500 \leq n \leq 3000$.

Tableau XV: espèces d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc emballée pendant la PSP/Site 2 à Malombo en fonction de l'évolution cadavérique

Nécro-arthropodofaune	Evolution cadavérique					
	Frais (J ₁)	Gonflement (J ₂)	Gonflement avancé (J ₂)	Décomposition active (J ₃ - J ₄)	Décomposition avancée (J ₅ - J ₁₀)	Squelette (J ₁₁ - F)
Araneae						
Araneae fam						
Araneae gen sp.						A ₂
Diptera						
Calliphoridae						
<i>Calliphora vomitoria</i>				A ₂	A ₂	
<i>Chrysomya albiceps</i>				A ₂	A ₂	
<i>Chrysomya bezziana</i>			A ₂	A ₃		A ₂
<i>Chrysomya marginalis</i>						A ₂
<i>Chrysomya</i> sp.2					A ₂	A ₄
<i>Lucilia cuprina</i>				A ₂	A ₂	
<i>Lucilia sericata</i>				A ₂	A ₂	
Diptera fam						
Diptera gen sp.2				C ₂	C ₂	C ₂
Drosophilidae						
Drosophilidae gen sp.2					A ₂	
Drosophilidae gen sp.3				C ₂	C ₂	C ₃
Fanniidae						
<i>Fannia canicularis</i>				A ₂	A ₃	
<i>Fannia</i> sp.1				A ₂	A ₃	A ₂
<i>Fannia</i> sp.2			C ₂	C ₃	C ₄	C ₃
Muscidae						
<i>Azelia</i> sp.1				A ₂	A ₂	
<i>Hydrotaea robineau</i>				A ₂		A ₂
<i>Hydrotaea</i> sp.2				A ₂	A ₃	
<i>Neomyia cornicina</i>				A ₂	A ₃	
<i>Thricops</i> sp.1				C ₂	C ₃	C ₂
Phoridae						
Phoridae gen sp.				A ₂	A ₂	A ₂
Psychodidae						
Psychodidae gen sp.						C ₃
Rhiniidae						
Rhiniinae gen sp.				C ₂	C ₂	C ₂
Sepsidae						
Sepsidae gen sp.				A ₂	A ₂	A ₂
Sphaeroceridae						
Sphaeroceridae gen sp.				C ₂	C ₂	C ₃
Stratiomyidae						
<i>Hermetia illucens</i>				C ₂	C ₂	C ₂
Stratiomyidae gen sp.1				C ₂	C ₂	C ₂
Syrphidae						

Suite du tableau XV

<i>Asarkina africana</i>		C ₂	C ₂
<i>Senaspis dibapha</i>	C ₂	C ₂	C ₃
Syrphidae gen sp.3		C ₂	C ₂
Syrphidae gen sp.5			A ₂
Hemiptera			
Pentatomidae			
Scutellarinae gen sp.1	A ₂		A ₂
Hymenoptera			
Apidae			
<i>Apis mellifera</i>		A ₂	A ₂
Formicidae			
<i>Myrmicaria opaciventris</i>	A ₂	A ₂	
<i>Pheidole megacephala</i>		A ₂	A ₂
Mesostigmata			
Macrochelidae			
<i>Macrocheles</i> sp.	C ₂	C ₄	C ₄
Spirostreptida			
Odontopygidae			
<i>Haplothysanus chapellei</i>			C ₂

-C₁: espèce constante mais avec une abondance très faible $9 \leq n \leq 11$; C₂: espèce constante ayant une abondance faible $12 \leq n \leq 99$; C₃: espèce constante ayant une abondance élevée $100 \leq n \leq 499$; C₄: espèce constante ayant une abondance très élevée $500 \leq n \leq 3000$.

- A₂: espèce accessoire ayant une abondance faible $12 \leq n \leq 99$; A₃: espèce accessoire ayant une abondance élevée $100 \leq n \leq 499$; A₄: espèce accessoire ayant une abondance très élevée $500 \leq n \leq 3000$.

Tableau XVI: espèces d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc emballée au cours de la PSS/Site 3 à Malombo en fonction de l'évolution cadavérique

Nécro-arthropodofaune	Evolution cadavérique					
	Frais (J ₁)	Gonflement (J ₂ - J ₃)	Gonflement avancé (J ₄)	Décomposition active (J ₅ - J ₈)	Décomposition avancée (J ₉ - J ₁₅)	Squelette (J ₁₆ - F)
Araneae						
Araneae fam						
Araneae gen sp.				C ₂	C ₂	C ₂
Coleoptera						
Staphylinidae						
<i>Aleochara (coprochara) sp.1</i>				C ₂	C ₂	
<i>Aleochara (coprochara) sp.4</i>				C ₁	C ₁	
<i>Aleochara (coprochara) sp.5</i>					A ₁	A ₁
<i>Atheta sp.</i>				A ₂		
Diptera						
Calliphoridae						
<i>Calliphora vomitoria</i>			A ₂			
<i>Chrysomya albiceps</i>		A ₂	A ₂	A ₂		
<i>Chrysomya bezziana</i>		A ₂	A ₃		A ₂	
<i>Chrysomya sp.2</i>					C ₃	C ₂
<i>Lucilia sericata</i>			A ₂			
Diptera fam						
Diptera gen sp.1					A ₂	
Diptera gen sp.2			C ₂	C ₂	C ₂	C ₂
Drosophilidae						
Drosophilidae gen sp.2			A ₂	A ₂	A ₂	
Drosophilidae gen sp.3			C ₂	C ₃	C ₃	C ₂
Fanniidae						
<i>Fannia sp.1</i>			C ₂			
<i>Fannia sp.2</i>		C ₂	C ₃	C ₂	C ₂	C ₂
Muscidae						
<i>Hydrotaea robineau</i>			A ₂	A ₂	A ₂	
<i>Neomyia cornicina</i>			A ₂	A ₂	A ₂	
<i>Thricops sp.1</i>			C ₂	C ₂	C ₃	C ₂
Phoridae						
Phoridae gen sp.		A ₁	A ₁	A ₁		
Psychodidae						
Psychodidae gen sp.					A ₂	A ₃
Rhiniidae						
Rhiniinae gen sp				C ₂	C ₂	C ₂
Sarcophagidae						
Sarcophagidae gen sp.			A ₂		A ₂	A ₂
Sciaridae						
Sciaridae gen sp.2				A ₁		
Sciaridae gen sp.3					C ₂	C ₂
Sepsidae						

Suite du tableau XVI

Sepsidae gen sp.		A ₂	A ₂	A ₂	
Sphaeroceridae					
Sphaeroceridae gen sp.				A ₂	A ₂
Stratiomyidae					
<i>Hermetia illucens</i>			C ₂	C ₂	C ₂
Stratiomyidae gen sp.1	C ₂	C ₂	C ₂	C ₂	C ₃
Syrphidae					
<i>Asarkina africana</i>			C ₂	C ₂	C ₂
<i>Senaspis dibapha</i>		C ₂	C ₂	C ₂	C ₃
Syrphidae gen sp.3		C ₂	C ₂	C ₂	C ₂
Hemiptera					
Pentatomidae					
Scutellarinae gen sp.2				A ₂	
Hymenoptera					
Apidae					
<i>Apis mellifera</i>				A ₂	
Formicidae					
<i>Dorylus nigricans</i>			A ₂	A ₃	A ₃
<i>Odontomachus tryglotides</i>					C ₂
<i>Pachycondyla tarsata</i>				A ₂	A ₂
Lepidoptera					
Lepidoptera fam					
Lepidoptera gen sp.2			C ₂	C ₂	C ₂
Mesostigmata					
Macrochelidae					
<i>Macrocheles</i> sp.			C ₃	C ₃	C ₄
Orthoptera					
Gryllidae					
Gryllidae gen sp.	C ₂		C ₂	C ₂	C ₃
Orthoptera fam					
Orthoptère gen sp.					A ₂

-C₁: espèce constante mais avec une abondance très faible $9 \leq n \leq 11$; C₂: espèce constante ayant une abondance faible $12 \leq n \leq 99$; C₃: espèce constante ayant une abondance élevée $100 \leq n \leq 499$; C₄: espèce constante ayant une abondance très élevée $500 \leq n \leq 3000$.

-A₁: espèce accessoire mais avec une abondance très faible $9 \leq n \leq 11$; A₂: espèce accessoire ayant une abondance faible $12 \leq n \leq 99$; A₃: espèce accessoire ayant une abondance élevée $100 \leq n \leq 499$; A₄: espèce accessoire ayant une abondance très élevée $500 \leq n \leq 3000$.

Tableau XVII: espèces d'arthropodes nécrophages colonisant la carcasse de porc emballée le long de la GSP/Site 4 à Malombo en fonction de l'évolution cadavérique

Nécro-arthropodofaune	Evolution cadavérique					
	Frais (J ₁)	Gonflement (J ₂ - J ₃)	Gonflement avancé (J ₄)	Décomposition active (J ₅ - J ₁₃)	Décomposition avancée (J ₁₄ - J ₂₈)	Squelette (J ₂₉ - F)
Araneae						
Araneae fam						
Araneae gen sp.				C ₂	C ₂	
Coleoptera						
Histeridae						
<i>Hister</i> sp.				C ₂	C ₂	
Scarabaeidae						
Scarabaeidae gen sp.2				C ₂	C ₂	
Scarabaeidae gen sp.3				C ₂	C ₂	
Scarabaeidae gen sp.4				C ₃	C ₂	
Staphylinidae						
<i>Aleochara (aleochara)</i> sp.				A ₂	A ₂	
<i>Aleochara (coprochara)</i> sp.1				C ₃	C ₂	
<i>Aleochara (coprochara)</i> sp.2				C ₃	C ₂	
<i>Aleochara (coprochara)</i> sp.3				C ₂	C ₂	
<i>Aleochara (coprochara)</i> sp.4				A ₂		
<i>Atheta</i> sp.				C ₄	C ₂	
<i>Neohypnus</i> sp.1				C ₂	C ₂	
<i>Platydacus scabrosus</i>				A ₁	A ₁	
Dictyoptera						
Blattidae						
Blattidae gen sp.					A ₁	
Diptera						
Anthomyiidae						
Anthomyiidae gen sp.				A ₂		
Calliphoridae						
<i>Chrysomya albiceps</i>		A ₂	A ₂	A ₂		
<i>Chrysomya chloropyga</i>				A ₁		
<i>Chrysomya putoria</i>		A ₂	A ₃	A ₃		
<i>Chrysomya</i> sp.2					A ₃	A ₂
<i>Lucilia cuprina</i>			A ₂	A ₂		
Diptera fam						
Diptera gen sp.1			C ₂	C ₂	C ₂	
Drosophilidae						
Drosophilidae gen sp.3			C ₂	C ₃	C ₃	
Dryomyzidae						
Dryomyzidae gen sp.				C ₂	C ₃	
Fanniidae						
<i>Fannia canicularis</i>			C ₂	C ₂	C ₂	
<i>Fannia</i> sp.1			C ₂	C ₃	C ₂	
<i>Fannia</i> sp.2			C ₂	C ₃	C ₂	

Suite du tableau XVII

Muscidae					
<i>Hydrotaea robineau</i>		C ₃		C ₄	C ₃
Muscidae gen sp.3				A ₂	
<i>Neomyia cornicina</i>				A ₂	
<i>Thricops</i> sp.1				C ₂	C ₂
Phoridae					
Phoridae gen sp.	C ₂	C ₂		C ₃	C ₂
Psychodidae					
Psychodidae gen sp.				C ₃	C ₄ C ₂
Rhiniidae					
Rhiniinae gen sp.				C ₂	C ₃ C ₂
Sciaridae					
Sciaridae gen sp.2				A ₂	
Sciaridae gen sp.3				A ₂	A ₂
Sepsidae					
Sepsidae gen sp.				C ₃	C ₂
Sphaeroceridae					
Sphaeroceridae gen sp.		C ₂		C ₂	C ₂
Stratiomyidae					
<i>Hermetia illucens</i>				C ₂	C ₂ C ₂
Stratiomyidae gen sp.1				C ₂	C ₃ C ₂
Syrphidae					
<i>Asarkina africana</i>				C ₂	C ₂ C ₂
<i>Senaspis dibapha</i>				C ₂	C ₃ C ₂
Syrphidae gen sp.3				C ₂	C ₃ C ₂
Syrphidae gen sp.5					C ₃ C ₂
Hymenoptera					
Apidae					
<i>Apis mellifera</i>				A ₁	A ₁
Formicidae					
<i>Camponotus brutus</i>					A ₂
<i>Dorylus nigricans</i>					C ₄ C ₂
<i>Myrmecaria opaciventris</i>	C ₂	C ₂		C ₃	C ₃ C ₂
<i>Pheidole megacephala</i>				C ₃	C ₂ C ₂
Lepidoptera					
Lepidoptera fam					
Lepidoptera gen sp.2				C ₂	C ₂
Mesostigmata					
Macrochelidae					
<i>Macrocheles</i> sp.				C ₃	C ₄ C ₃
Orthoptera					
Gryllidae					
Gryllidae gen sp.					A ₂

-C₁: espèce constante mais avec une abondance très faible $9 \leq n \leq 11$; C₂: espèce constante ayant une abondance faible $12 \leq n \leq 99$; C₃: espèce constante ayant une abondance élevée $100 \leq n \leq 499$; C₄: espèce constante ayant une abondance très élevée $500 \leq n \leq 3000$.

-A₁: espèce accessoire mais avec une abondance très faible $9 \leq n \leq 11$; A₂: espèce accessoire ayant une abondance faible $12 \leq n \leq 99$; A₃: espèce accessoire ayant une abondance élevée $100 \leq n \leq 499$; A₄: espèce accessoire ayant une abondance très élevée $500 \leq n \leq 3000$.

III.1.9 Diversité des arthropodes nécrophages récoltés sur les carcasses de porcs domestiques emballées

III.1.9.1 Diversité des peuplements d'arthropodes en fonction des différents stades de décomposition à Malombo

Les valeurs des différents indices écologiques rassemblées au tableau XVIII ci-dessous montrent que la diversité des peuplements d'arthropodes nécrophages était minimale au stade frais des cadavres ($H'=0,56$ et $\lambda=0,38$). Toutefois, la valeur de l'équitabilité de Pielou ($J'=0,81$) et celle de l'indice de Berger-Parker ($ID=0,75$) ne le traduisent pas. Au cours des stades de dégradation suivants, la tendance générale est à une forte diversité, c'est-à-dire à une dominance négligeable ($H' \geq 2,6$; $J' \geq 0,57$; $\lambda \geq 0,81$ et $ID \leq 0,41$). Les indices H' , λ et ID soutiennent que cette diversité était plus élevée au stade de putréfaction alors qu'elle était moins forte au stade squelette (confère J' et λ).

Tableau XVIII: valeurs des différents indices de diversité écologique des nécroarthropodofaunes lors des différents stades de dégradation des carcasses de porcs emballées dans la forêt de Malombo

Indices de diversité	Evolution cadavérique					
	Frais	Gonflement			Putréfaction	
		Gonflement	avancé	Putréfaction	avancée	Squelette
Shannon (H')	0,56	3,23	3,00	3,61	3,22	2,60
Equitabilité (J')	0,81	0,79	0,71	0,77	0,67	0,57
Simpson (λ)	0,38	0,93	0,92	0,95	0,92	0,81
Berger-Parker (ID)	0,75	0,17	0,18	0,12	0,21	0,41

III.1.9.2 Diversité des peuplements arthropodiens en fonction des différents stades de décomposition et par saison (site)

Pendant la grande saison sèche/site 1, la diversité des peuplements d'arthropodes nécrophages est apparue élevée au cours des cinq derniers stades de décomposition du porc ($H' \geq 2,12$; $J' \geq 0,57$; $\lambda \geq 0,70$; ID bien que égal à 0,53 au stade de décomposition active était inférieur à 0,25 dans les autres stades). Cette diversité est apparue plus élevée au stade de décomposition avancée (confère valeurs de H' , J' et λ du tableau XIX).

Tableau XIX: valeurs des différents indices de diversité arthropodienne des différents stades de dégradation de la carcasse de porc emballée en GSS (site 1) à Malombo

	Evolution cadavérique					
	Frais	Gonflement	Gonflement	Décomposition	Décomposition	Squelette
			avancé	active	avancée	
Shannon (H')	-	2,66	2,8	2,12	3,01	2,74
Pielou (J')	-	0,83	0,88	0,57	0,66	0,72
Simpson (λ)	-	0,89	0,93	0,70	0,90	0,89
Berger-Parker (ID)	-	0,25	0,15	0,53	0,24	0,24

Pendant la petite saison de pluies/site 2, le peuplement d'insectes nécrophages échantillonnés sur la carcasse de porc a été moins diversifié à l'état frais par rapport à ceux des autres stades de décomposition ($H= 0,56$ et $\lambda= 0,38$); les indices J' et ID ne le traduisent cependant pas. Du stade de gonflement à celui de squelette, la diversité des peuplements arthropodiens a été plus ou moins élevée ($H' \geq 1,73$; $J' \geq 0,55$; $\lambda \geq 0,78$ et $ID \leq 0,41$). Elle est apparue plus élevée au stade de décomposition active (confère indices de Shannon et de Simpson) et moins élevée au stade squelette (confère indice de Pielou) au tableau XX.

Tableau XX: valeurs des différents indices de diversité arthropodienne des différents stades de dégradation de la carcasse de porc emballée en PSP (site 2) à Malombo

Evolution cadavérique						
	Frais	Gonflement	Gonflement avancé	Décomposition active	Décomposition avancée	Squelette
Shannon (H')	0,56	1,73	2,66	3,10	2,69	2,28
Pielou (J')	0,81	0,89	0,84	0,83	0,64	0,55
Simpson (λ)	0,38	0,79	0,91	0,92	0,84	0,78
Berger-Parker (ID)	0,75	0,35	0,18	0,22	0,36	0,41

Pendant la petite saison sèche/site 3, les nécroarthropodofaunes du porc emballé ont été relativement diversifiées ($H' \geq 2,44$; $J' \geq 0,59$; $\lambda \geq 0,78$ et $ID \leq 0,44$). Les trois premiers indices cités montrent que la faune arthropodienne du stade squelette était la moins diversifiée alors que l'indice de Shannon et celui de Simpson indiquent une plus grande diversité entomofaunique au stade de décomposition active (tableau XVIII).

Tableau XXI: valeurs des différents indices de diversité arthropodienne des différents stades de dégradation de la carcasse de porc emballée en PSS (site 3) à Malombo

Evolution cadavérique						
	Frais	Gonflement	Gonflement avancé	Décomposition active	Décomposition avancée	Squelette
Shannon (H')	-	2,83	2,86	3,31	3,13	2,44
Pielou (J')	-	0,79	0,75	0,79	0,73	0,59
Simpson (λ)	-	0,90	0,91	0,95	0,93	0,78
Berger-Parker (ID)	-	0,23	0,19	0,13	0,15	0,44

Pendant la grande saison des pluies (site 4), les faunes des arthropodes nécrophages du porc emballé en décomposition ont été relativement diversifiées dès le stade de gonflement de l'animal ($H' \geq 2,30$; $J' \geq 0,62$; $\lambda \geq 0,82$ et $ID \leq 0,40$). Cette diversité était d'une part plus grande au stade de décomposition active

(confère de valeurs H' , λ et ID) et, d'autre part, moins élevée au stade de gonflement avancé (confère valeurs de λ et ID du tableau XXII).

Tableau XXII: valeurs des différents indices de diversité arthropodienne des différents stades de dégradation de la carcasse de porc emballée en GSP (site 4) à Malombo

	Evolution cadavérique					
	Frais	Gonflement	Gonflement avancé	Décomposition active	Décomposition avancée	Squelette
Shannon (H')	-	2,81	2,30	3,40	2,94	2,48
Pielou (J')	-	0,80	0,62	0,76	0,68	0,67
Simpson (λ)	-	0,90	0,83	0,94	0,90	0,82
Berger-Parker (ID)	-	0,25	0,30	0,17	0,25	0,40

III.1.10 Dissimilarité des faunes d'arthropodes entre les différents stades de décomposition des carcasses emballées de porcs domestiques à Malombo

Dans la localité de Malombo, en général les porcs en gonflement et en état de décomposition avancée ont pratiquement partagé les mêmes espèces (ou morphotypes) d'arthropodes nécrophages (BC= 0,06) de même que ceux en gonflement et squelette (BC= 0,08) comme le montre le tableau XXIII. La dissimilarité des faunes a été de plus en plus évidente entre les stades dans l'ordre suivant: gonflement avancé/ décomposition avancée (BC= 0,12); gonflement avancé/squelette (BC= 0,17); gonflement / décomposition active (BC= 0,19); gonflement avancé/ décomposition active (BC= 0,37); gonflement/gonflement avancé (BC= 0,40); décomposition active/squelette (BC= 0,42); décomposition active/ décomposition avancée (BC= 0,44), enfin décomposition avancée/squelette (BC= 0,52).

Tableau XXIII: valeurs de l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis des arthropodofaunes nécrophages entre les différents stades de décompositions des carcasses de porcs emballées à Malombo

Gonflement	-				
Gonflement avancé	-	0,40			
Décomposition active	-	0,19	0,37		
Décomposition avancée	-	0,06	0,12	0,44	
Squelette	-	0,08	0,17	0,42	0,52
	Frais	Gonflement	Gonflement avancé	Décomposition active	Décomposition avancée

III.1.11 Dissimilarité des faunes d'arthropodes entre les différentes saisons/sites d'étude à Malombo

Entre les quatre saisons (sites) d'étude, les nécroarthropodofaunes ont d'une part montré des ressemblances intermédiaires entre la GSP (site 4) et la PSP (site 2) avec BC= 0,49, la GSS (site 1) et la GSP (site 4) puis GSP (site 4) et la PSS(site 3) avec BC= 0,58. D'autre part, elles ont été moins semblables entre la PSS (site 3) et la GSS (site 1) avec BC= 0,60 puis la PSP (site 2) et la PSS (site 3) avec BC= 0,61. Enfin la dissemblance a été plus forte entre la GSS (site 1) et la PSP (site 2) avec BC= 0,68 comme le montre le tableau XXIV.

Tableau XXIV: indice de dissimilarité de Bray-Curtis (BC_{Sites}) des arthropodofaunes nécrophages colonisant les carcasses de porcs emballées entre les différentes saisons à Malombo

PSP / Site 2	0,68		
PSS / Site 3	0,60	0,61	
GSP / Site 4	0,58	0,49	0,58
	GSS / Site 1	PSP / Site 2	PSS / Site 3

III.1.12 Quelques photos des familles d'arthropodes nécrophages échantillonnées sur les carcasses de *Sus scrofa domesticus* emballées dans la forêt équatoriale de Malombo

Les figures ci-dessous nous présentent quelques familles d'arthropodes nécrophages échantillonnées sur les carcasses de porcs domestiques emballées dans la zone forestière de Malombo.



Fig 15A₁: Photo Phoridae



Fig 15A₂: Photo Sepsidae



Fig 15A₃: Photo Drosophilidae



Fig 15A₄: Photo Anthomyiidae



Fig 15A₅: Photo Sciaridae



Fig 15A₆: Photo Dryomyzidae



Fig 15A₇: Photo Sphaeroceridae



Fig 15A₈: Photo Culicidae



Fig 15A₉: Photo Psychodidae



Fig 15A₁₀: Photo Muscidae



Fig 15A₁₁ : Photo Fannidae



Fig 15A₁₂ : Sarcophagidae



Fig 15A₁₃: Photo Calliphoridae



Fig 15A₁₄: Photo Rhiniidae



Fig 15A₁₅: Photo Stratiomyidae



Fig 15A₁₆: Photo Syrphidae



Fig 15B: Photo Macrochelidae



Fig 15C₁: Photo Braconnidae



Fig 15C₂: Photo Apidae

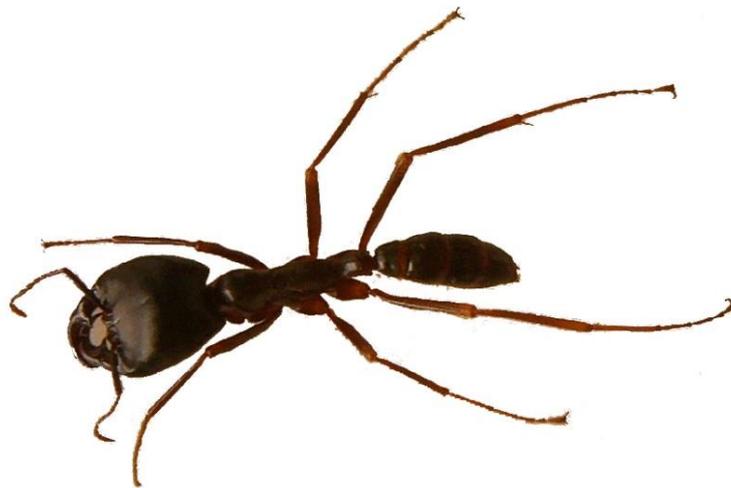


Fig 15C₃: Photo Formicidae



Fig 15D₁: Photo Scarabaeidae



Fig 15D₂: Photo Histeridae



Fig 15D₃: Photo Trogidae



Fig 15D₄: Photo Dermestidae



Fig 15D₅: Photo Cleridae



Fig 15D₆: Photo Staphylinidae

Figure 15: Quelques familles de Diptères (A), Méso­stigmatés (B), Hyménoptères (C) et Coléoptères (D) nécrophages échantillonnées sur les carcasses de *Sus scrofa domesticus* emballées dans la zone forestière équatoriale de Malombo.

III.2 Discussion

Ce travail a permis de récolter 46082 individus répartis dans 3 classes, 12 ordres, 48 familles et 158 espèces ou morphotypes. Cette diversité biologique diffère de celle mise en évidence par Koffi *et al.* (2017a) en Côte d'Ivoire, soit 5 ordres. L'ordre des Diptères a eu l'abondance la plus élevée avec 29545 individus et l'ordre des Coléoptères avec 2403 individus. Ce résultat s'écarte de celui d'Hassane Dao *et al.* (2019a) qui, en Côte d'Ivoire, ont échantillonné sur 12 carcasses de porcs domestiques exposées en plein air et durant l'ensemble des saisons d'une année 23406 Diptères et 3679 Coléoptères. Il diffère aussi de celui de Koffi *et al.* (2017a) qui ont récolté 7903 Diptères et 2648 Coléoptères sur des carcasses de porcs domestiques dans trois zones forestières du sud de la Côte d'Ivoire. Cette baisse de l'abondance des Diptères (et même d'autres ordres) dans l'arthropodofaune-nécrophage de Côte d'Ivoire serait due à l'utilisation par les auteurs suscités des substrats de masses inférieures à 40Kg, aux types de végétations et de climats dans lesquels les carcasses ont été exposées.

III.2.1 Analyse des différents stades de décomposition des porcs en fonction des facteurs endogènes et exogènes

La présente étude a permis de distinguer six stades de décomposition (frais, gonflement, gonflement avancé, putréfaction, putréfaction avancée et squelette) de chaque dépouille emballée quelle que soit la saison/site. Ce nombre de stades de décomposition dépasse le chiffre 5 rapporté par Anderson & VanLaerhoven (1996) dans le sud-ouest de la Colombie Britannique, Dekeirsschieter *et al.* (2011, 2013) en Belgique, Koffi *et al.* (2017 a et b) et Hassane Dao *et al.* (2019 a et b) en Côte d'Ivoire; ces auteurs ont étudié l'entomofaune nécrophage des carcasses de porcs exposées en plein air et n'ont pas distingué la phase de gonflement avancée. En effet, les dépouilles exposées en plein air pourraient plus facilement libérer les gaz contenus dans l'abdomen que celle qui sont emballées. Ceci ne permettrait pas une bonne délimitation des stades de gonflement et de gonflement avancé, ce dernier étant d'ailleurs très fugace, soit une demi journée à un jour.

Au stade frais, le phénomène de raidissement musculaire progressif s'est produit entre la deuxième et la quatrième heure post décès dans les différents sites ou pendant les différentes saisons. Cet enraidissement est dû à la dégradation du glycogène et à l'accumulation d'acide lactique (Ludes *et al.*, 2003).

Le stade de gonflement a eu un intervalle post-mortem de deux jours dans les quatre sites. A ce stade, le cadavre devient moins rigide puis un léger gonflement de l'abdomen de l'animal commence et se poursuit au cours des heures suivantes accompagné des lividités et des écoulements au niveau des orifices ouverts à l'extérieur. Ainsi, l'accumulation du sang par gravité pourrait expliquer les lividités qui débutent dès l'arrêt de la fonction hémodynamique (Swift, 2006).

Le stade de gonflement avancé a en moyenne duré un jour en GSS, PSS et en GSP respectivement dans les sites 1, 3 et 4 et une demi-journée en PSP dans le site 2. Cette différence de durée de gonflement des cadavres pourrait s'expliquer par les fortes intensités d'ensoleillement et les hautes températures enregistrées sur le site d'étude durant la saison sèche et dans les sites à canopée ouverte où les rayonnements frappent directement sur le sol (Johnson *et al.*, 2012b). Cette durée du stade de gonflement avancé trouverait une explication à la température ambiante relativement élevée, 23 à 40,8°C au cours des quatre saisons. En effet, la température augmente la vitesse du métabolisme des micro-organismes intestinaux des cadavres; ceux-ci produisent alors des gaz du gonflement. Ceci cadre avec les travaux d'Hassane Dao *et al.* (2019a). Durant ces deux stades, les carcasses emballées ont été colonisées par les Coléoptères (Histeridae, Scarabaeidae, Staphylinidae et Trogidae) puis des Diptères (Calliphoridae, Drosophilidae, Anthomyiidae, Dryomizidae, Fannidae, Sarcophagidae, Phoridae, Muscidae, Stratiomyidae, Sphaeroceridae ... (voir tableau VII) plus tôt en saisons sèches qu'en saisons pluvieuses et dans les sites à canopée ouverte, du fait des odeurs caractéristiques du cadavre (Martin *et al.*, 2020; Minchilli, 2020) provenant des gaz produits par les microorganismes intestinaux et de l'arrêt de la fonction hémodynamique (Swift, 2006; Forbes & Perrault 2014; Verheggen *et al.*, 2017).

La durée de la phase de putréfaction ou décomposition active a été plus courte, 2 jours, en PSP c'est-à-dire dans un site où la canopée était ouverte, le sol sec, et l'humidité relative minimale plus faible, soit 42%. Par contre, elle était plus longue, 9 jours, en GSP c'est-à-dire dans un site où la canopée était dense, le sol marécageux, et la valeur de l'humidité relative minimale plus élevée, soit 66%. Martin *et al.* (2019) estiment que plus la décomposition est lente, mieux l'ordre de succession des arthropodes nécrophages donne des informations crédibles. De plus, en PSP donc dans le site S₂ où la température ambiante la plus élevée (40,8°C) et où les précipitations relativement faibles (33 mm max) étaient relevées, des œufs de Diptères ont probablement éclos plus vite; les larves ont aussi décomposé plus rapidement les carcasses, abrégant davantage les stades de gonflement et de gonflement avancé. Ces résultats sont en phase avec ceux Johnson *et al.* (2012b) et d'Hassane Dao *et al.* (2018) qui signalent que les fortes intensités d'ensoleillement et donc des températures élevées (27-36°C) accélèrent l'éclosion des œufs de Diptères sur les cadavres. Les courtes durées des différents stades de décomposition en PSP comparées à celles des autres saisons sont dues aux variables abiotiques: l'humidité relative minimale, la température ambiante élevée, les précipitations faibles et l'ouverture de la canopée.

Au stade de putréfaction avancée ou de décomposition avancée, les cadavres présentaient un aspect pâteux ou boueux dans les sites 1 et 4 mais de barbecue séché dans les sites 2 et 3 (cf figure 13). Ces apparences seraient dues aux facteurs abiotiques. Il s'agit sous une canopée dense, c'est-à-dire dans les sites 1 (sur sol ferme et en GSS) et 4 (sur sol marécageux et en GSP), de l'abondance des précipitations

(44 mm et 51 mm) qui s'accompagne de températures ambiantes minimales plus faibles (23°C et 23,4°C). Dans les environnements à canopée ouverte, c'est-à-dire dans les sites 2 (sur sol sec et en PSP) et 3 (sur sol humide et en PSS), il s'agit de faibles précipitations (33 mm et 7 mm) qui s'accompagne de températures ambiantes minimales plus élevées (25,1°C et 24,1°C) et d'une humidité relative minimale basse (42% et 55%).

Au stade squelette, les restes d'aliments présents dans l'estomac au moment du sacrifice des porcs n'ont pu être observés que dans les sites 2 et 3, c'est-à-dire en PSP et PSS. Cette donnée est précieuse dans la détermination de la période de l'IPM.

III.2.1 Nécroarthropodofaune en fonction des saisons

Parmi les arthropodes nécrophages colonisant les carcasses emballées de porcs à Malombo, l'ordre des Diptères était le plus diversifié (70 espèces), suivi des Coléoptères (31 espèces), des Hyménoptères (31 espèces) et des Diplopodes (6 espèces). Les familles des ordres de Diptères, Hémiptères et des Aranéides sont apparues les premières sur les cadavres. Ces observations rejoignent celles de Carvalho & Conde Godoy (2013). De plus ces ordres et ces familles d'arthropodes nécrophages ont été aussi observés sur des porcs en décomposition par Goff (2009) puis Faria *et al.* (2013) au Brésil et par Koffi *et al.* (2018) en Côte d'Ivoire.

La forte abondance des Diptères (9008 individus), des Coléoptères (1705 individus) et des Hyménoptères (1594 individus) récoltés pendant la grande saison pluvieuse suggère que les conditions environnementales leur étaient favorables en plus de la forte compétitivité de leurs larves. Ce résultat rejoint ceux de Charabidzé & Bourel (2007) et de Carvalho & Conde Godoy (2013). L'espèce *Calliphora vicina* a été récoltée sur les carcasses de porcs pendant les quatre saisons, c'est-à-dire GSS (36 individus), en PSP (21 individus), en PSS (28 individus) et en GSP (22 individus). De même, les Stratiomyidae ont été récoltés sur les carcasses de porcs pendant les quatre saisons, c'est-à-dire GSS, en PSP, en PSS et en GSP. Ces observations s'opposent à celles d'Hassane Dao *et al.* (2019a) qui ne les ont récoltés que pendant la saison pluvieuse en Côte d'Ivoire. La conjonction des facteurs environnementaux dans la localité de Malombo serait favorable à cette espèce (*C. vicina*) qui, de l'avis de Hwang & Turner (2005), ne supporte pas les fortes températures. Les Drosophilidae, les Fanniidae, les Muscidae, les Rhinnidae, les Sepsidae, les Sphaeroceridae, les Stratiomyidae et les Syrphidae ont été majoritaires sur la dépouille du porc durant la grande saison pluvieuse. La présence des espèces de ces familles en grand nombre pourrait être due à l'humidité relative élevée (65-92 %) qui favoriserait la colonisation de plusieurs espèces de Diptères nécrophages durant la saison pluvieuse. Ces résultats rejoignent ceux de Goff (1993), de Campobasso *et al.* (2001) et d'Hassane Dao *et al.* (2019a). La forte abondance des larves de Stratiomyidae retrouvées dans le sac mortuaire était à l'origine de la putréfaction avancée du substrat puisqu'elles représentaient

plus de 70% des larves présentes tant à l'intérieur qu'aux alentours du sac mortuaire durant toutes les saisons. Ce résultat est en accord avec les observations d'Hassane Dao *et al.* (2019a) bien qu'elles ne concernent que la saison de pluies en Côte d'Ivoire.

Sous une végétation dense, surtout dans le site 1 où les précipitations étaient irrégulières, celles dépassant 10 mm/jour ont induit une importante mortalité des larves de Diptères à l'intérieur du sac mortuaire après 48 à 72 heures, probablement du fait d'une baisse brusque de la température qui handicape ou freine le développement de ces organismes poïkilothermes (Kreitlow, 2010).

L'arrivée des Coléoptères sur les carcasses de porcs emballées a varié avec les saisons, intervenant le 3^{ème} jour post-mortem (PM) en GSP, le 4^{ème} jour PM en GSS et PSS, enfin le 5^{ème} jour PM en PSP. Ce résultat est en désaccord avec celui de Prado e Castro (2013) qui arguent que les arthropodes nécrophages apparaissent plus tôt sur les carcasses dans les milieux à faible couvert végétal. Dans ce groupe zoologique, l'ordre décroissant des abondances des familles était le suivant: Staphylinidae 1844 individus, Scarabaeidae 413 individus, Histeridae 94 individus, Cleridae 15 individus, Dermestidae 9 individus et Trogidae 2 individus. Le rôle du stade de dégradation et de la saison s'est encore manifesté dans la dominance numérique des taxa; les Staphylinidae (279 individus) et les Scarabaeidae (25 individus) ont été plus représentés pendant le stade de décomposition active en GSS. L'abondance de ces arthropodes serait due en cette période plus par la température interne de la carcasse qui favoriserait leur développement (Goodbrod & Goff, 1990; Turner & Howard, 1992) que par la température ambiante qui est tamponnée par le couvert végétal dense. Avec 61 individus, les Histeridae ont été plus présents pendant la grande saison de pluies. Ce résultat diffère de celui d'Hassane Dao *et al.* (2019a) qui ont plutôt observé les Histeridae en abondance en saison sèche, période pendant laquelle l'insolation était très forte, favorisant la liquéfaction et le rancissement des graisses qui attirent un nombre important de ces arthropodes.

Pendant la GSP en effet, l'ordre de décroissance d'abondance des familles était le suivant : Staphylinidae 1260 individus, Scarabaeidae 365 individus et Histeridae 61 individus. Bien que l'humidité relative ait été très élevée (66% à 92%) associée à une intensité d'insolation (23,4-35,9°C), on a eu la même gamme de température qu'en GSS. Cette gamme de températures toujours sous couvert végétal dense justifierait qu'on ait le même profil d'abondance des arthropodes nécrophages. Le comportement prédateur des larves de Staphylinidae (Wyss & Cherix, 2006; Koffi *et al.* 2017, 2018; Hassane Dao *et al.* 2018, 2019b) explique leur dominance numérique tant en GSS qu'en GSP; ils se nourrissent des œufs et des larves de Diptères qui pullulent sur et en dessous des carcasses de porcs emballées. Les travaux de Sanchez & Fagua (2014) en Colombie soutiennent que l'abondance des espèces diminue avec l'augmentation des précipitations parce que la pluie retarde la colonisation des adultes; de plus lorsque les

carcasses sont colonisées, l'eau provoque une mortalité immature. Ce résultat est en opposition avec ceux obtenus dans la zone forestière équatoriale de Malombo puisque pendant la grande saison de pluies, nous avons eu une abondance très élevée par rapport aux autres saisons.

Durant les quatre saisons de l'année, nous avons observé des différences dans la composition des faunes nécrophages, la séquence d'apparition des taxons et la durée de leur présence sur les carcasses. Des résultats similaires ont été obtenus lors des études multi-saisons précédentes sur les charognes de lapins en Egypte (Tantawi *et al.*, 1996), sur des petits mammifères en République Tchèque (Kocàrek, 2003) et dans l'ouest de l'Australie (Voss *et al.*, 2009), sur des carcasses d'animaux sauvages en Louisiane (Watson & Carlton, 2005), enfin sur des carcasses porcs domestiques en Argentine (Centeno *et al.*, 2002) et dans le sud-ouest de la Virginie (Tabor *et al.*, 2004), en Saskatchewan (Sharanowski *et al.*, 2008), en Chine (Wang *et al.*, 2008), et en Côte d'Ivoire (Koffi *et al.*, 2017 a, b; 2018; Hassane Dao *et al.*, 2019a, b). Par conséquent, il semble raisonnable, sinon nécessaire, d'utiliser dans la pratique médico-légale des modèles saisonniers au cours desquels des restes ont été découverts (Johnson *et al.*, 2012b).

III.2.3 Relation entre la nécroarthropodofaune, les différents stades de décompositions et le type de milieu

Entre les stades de décomposition des cadavres de porcs emballés d'une part et, d'autre part, les sites d'exposition, les compositions des nécroarthropodofaunes sont apparues relativement semblables dans le premier cas et d'une ressemblance intermédiaire dans le deuxième cas. Toutefois, si la diversité spécifique tend à être forte du stade de gonflement au stade de squelette, elle a toujours été faible au stade frais. Cette observation est conforme à celle de Matuszewski *et al.* (2008) faite également dans des habitats forestiers en Europe centrale, d'Hassane Dao *et al.* (2018) et Koffi *et al.* (2017a) dans des habitats forestiers de la Côte d'Ivoire. Le statut de chaque arthropode dans les différentes escouades est important dans l'estimation de l'IPM dans les différents milieux explorés.



**CONCLUSION ET
PERSPECTIVES**

Les travaux effectués en zone forestière à Malombo, Région du Centre-Cameroun ont permis de décrire six stades de décomposition des porcs emballés. Ainsi, 46082 individus répartis dans 3 classes (Hexapodes, Arachnide et Myriapodes) 12 ordres, 48 familles et 158 espèces ont été récoltés. Chez les Diptères, la famille des Calliphoridae a été la plus riche avec 7274 individus et 17 espèces. Les espèces du genre *Chrysomya* ont été présentes lors des quatre saisons. Chez les Coléoptères, la famille des Staphylinidae a été la plus riche avec 1844 individus et 15 espèces. Les espèces du genre *Aleochara* ont été présentes lors des quatre saisons. Ensuite chez les Hyménoptères, la famille des Formicidae a été la plus riche avec 3212 individus et 22 espèces. Enfin chez les Myriapodes, la famille des Odontopygidae a été la plus abondante avec 123 individus d'une seule espèce *Haplothysanus chapellei*; par contre la plus riche a été celle des Cryptodesmidae avec 2 espèces. Le temps de décomposition des carcasses emballées a varié en fonction des saisons et les habitats forestiers. Les carcasses emballées se sont décomposées plus rapidement dans les habitats à canopée ouverte. Les carcasses emballées attirent plus d'arthropodes nécrophages que celles non emballées. Cette forte colonisation par la nécroarthropodofaune serait due à l'inaccessibilité du substrat par ces organismes augmentant et favorisant ainsi une forte compétition entre les espèces pour nidifier, se nourrir et se pérenniser.

Ces résultats indiquent que la vitesse de décomposition de la carcasse est liée aux facteurs abiotiques (la température, l'environnement et l'humidité relative) qui sont des variables clés affectant le temps d'apparition de la plupart des arthropodes nécrophages. En petites saisons de pluies et sèche sous canopée ouverte, à partir du stade de décomposition avancée les cadavres se sont desséchés rapidement limitant la colonisation de la carcasse par l'arthropodofaune nécrophage mais le processus de décomposition a été rapide; parcontre en grandes saisons de pluies et sèche sous canopée dense, le processus de décomposition des cadavres emballés a été lent et a permis d'obtenir des escouades plus détaillées. Car plus la décomposition est lente, mieux l'information qu'elle nous apporte est précise lors de la détermination de l'intervalle postmortem.

Le suivi du processus de décomposition d'une carcasse de porc emballée pendant les quatre saisons de l'année dans la zone forestière de Malombo dans la Région du Centre-Cameroun est un atout important pour les sciences forensiques. Dans le cadre d'une expertise arthropodologique de datation d'un décès, l'expert médico-légal peut déjà se référer à la base de données acquise pour une zone forestière.

Perspectives

Ces résultats constituent une avancée dans la connaissance de l'arthropodofaune nécrophage d'une dépouille de porc domestique emballée exposée en pleine forêt. Toutefois, afin d'améliorer ce travail, nous espérons orienter nos futures recherches dans l'étude des arthropodes nécrophages qui sont sous étudiés (Araneae, Hémiptères, Hyménoptères, Lépidoptères, Myriapodes, Orthoptères) mais pourtant présents à répétition sur les carcasses et tenir compte des témoins négatifs pour mieux discriminer la faune arthropodienne. Nous envisageons également poursuivre l'identification des espèces non nommées au cours de ce travail et d'étudier les cycles de développement des arthropodes récoltés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aballay F. H., Chani-Posse M. R., Ayon M. R., Maldonado M. B. & Centeno N. D. (2014).** An illustrated key to and diagnoses of the species of Staphylinidae (Coleoptera) associated with decaying carcasses in Argentina. *Zootaxa*, **3860** (2): 101-124.
- Abossolo S. M., Amougou J. A., Tchindjang M., Mena M. S. & Batha A. S. (2015).** Analyse des précipitations annuelles à la station de Yaoundé de 1895 à 2006. *Afrique Science*, **11** (2): 183-194.
- Adams J. O. Z. & Hall J. R. M. (2003).** Methods used for the killing and preservation of blowfly larvae, and their effect on post-mortem larval length. *Forensic Science International*, **138**: 50-61.
- Almeida M. L. & Mise K. M. (2009).** Diagnosis and key of main families and species of south American Coleoptera of forensic impotence. *Revista Brasileira de Entomologia*, **53** (2): 227-244.
- Amendt J., Campasso 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**: 90-104.
- Amendt J., Krettek R. & Zehner R. (2004).** Forensic entomology. *Naturwissenschaften*, **91**: 5165.
- Amendt J., Zehner R. & Reckel F. (2008).** The nocturnal oviposition behavior of blowflies (Diptera: Calliphoridae) in Central Europe and its forensic implication. *Forensic Science International*. **175**: 61-64.
- American Veterinary Medical Association (AVMA). (2007).** *Guidelines on Euthanasia (anciennement Report of the AVMA Panel on Euthanasia)*. http://www.avma.org/issues/animal_welfare/euthanasia.pdf (consultée le 2017-04-27).
- American Veterinary Medical Association (AVMA). (2013).** *Guidelines for the Euthanasia on animals*. <http://www.avma.org/KB/Policies/Documents/euthanasia.pdf> (consultée le 2017-12-27).
- America's Pork Producers and Pork Checkoff (APP & PC). (2016).** *On-Farm Euthanasia of Swine Recommendations for the Producer*. National Pork Board, Des Moines IA USA: 18p
- Anderson, G. S. (2000).** Minimum and maximum development rates of some forensically important calliphoridae (Diptera). *Journal of Forensic Sciences*, **45** (4): 824-832.
- Anderson G. S. (2001).** Insect succession on carrion and its relationship to determining time of death. In: Castner J.H., Byrd J.L. (Eds.) *Forensic entomology. The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C: p143-169.

- Anderson G. S. (2010).** Factors that influence insect succession on carrion. In Byrd J. & Castner J. (Eds.), *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. Boca Raton, Florida, USA. CRC Press: p 201-250.
- Anderson G. S. & Vanlaerhoven S. L. (1996).** Initial studies on insect succession on carrion in South Western British Columbia. *Journal of Forensic Sciences*, **41** (4): 617-625.
- Annabelle L. & Sophie R. (2012).** *Datation par la méthode entomologique*. Museum National d'Histoire Naturelle France, p1-9.
- Anton F., Euchner I. & Handwerker H. O. (1992).** Psychophysical examination of pain induced by defined CO₂ pulses applied to the nasal mucosa. *Pain*, **49** (1): 53-60.
- Archer M. S. (2004).** The effect of time after body discovery on the accuracy of retrospective weather station ambient temperature corrections in forensic entomology. *Journal of Forensic Sciences*, **49**: 553–559.
- Archer M. S. & Elgar M. A. (2003).** Female breeding-site preferences and larval feeding strategies of carrion-breeding Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera): a quantitative analysis. *Australian Journal of Zoology*, **51**: 74-165.
- 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 Science International*, **149**: 57-65.
- Asamura H., Takayanagi K., Ota M., Kobayashi K. & Fukushima H. 2004.** Unusual characteristic patterns of postmortem injuries. *Journal of Forensic Science*, **49**: 592-594.
- Azwandi A. & Abu Hassan A. (2009).** A preliminary study of the decomposition and dipteran associated with exposed carcasses in an oil palm plantation in Bandar Baharu, Kedah, Malaysia. *Tropical Biomedicine*, **26**: 1-10.
- Baldrige R. S., Wallace S. G. & Kirkpatrick R. (2006).** Investigation of nocturnal oviposition by necrophilous flies in Central Texas. *Journal of Forensic Sciences*, **51**: 125-126.
- Barbault R. (2000).** *Structure et fonctionnement de la biosphère: Ecologie générale*. Dunod. 5e édition, France, 326 p.
- Barbosa R. R., Carriço C., Souto R. N. P., Andena S. R., Ururahy-Rodrigues A. & Queiroz M. M. C. 2015.** Record of postmortem injuries caused by the Neotropical social wasp *Agelaia fulvofasciata*

(Degeer) (Hymenoptera, Vespidae) on pig carcasses in the Eastern Amazon region: implication in forensic taphonomy. *Revista Brasileira de Entomologia*, **59**: 257-259.

- Barrios M. & Wolff M. (2011).** Initial study off arthropods succession and pig carrion decomposition in two freshwater ecosystems in the Colombian Andes. *Forensic Science International*, **212** (1-3): 164-72.
- Barros A. S., Dutra F. & Ferreira R. (2008).** Insects of forensic importance from Rio Grande do Sul state in southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, **52** (4): 641–646.
- Behonick G. S., Massello W., Kuhlman J. J. Jr. & Saady J. (2003).** A tale of two drugs in Southwestern Virginia: oxycodone and methadone. *Proceedings American Academy of Forensic Sciences*, **20**: 312-313.
- Benecke M. (1998).** Random amplified polymorphic DNA (RAPD) typing of necrophageous insects (Diptera, Coleoptera) in criminal forensic studies: validation and use in practice. *Forensic Science International*, **98**: 157-168.
- Benecke M. (2002).** Les insectes judiciaires. *Pour la science*, **296**: 76-83.
- Benecke M. (2004).** Arthropods and Corpses. *Forensic Pathology Reviews*, **2**: 207-240.
- Benecke M. & Lessig R. (2001).** Child neglect and forensic entomology. *Forensic Science International*, **120**: 155-159.
- Bergeron N. (2018).** Méthode recommandée d'euthanasie respectueuse du bien-être animal. *Régie d'Élevage*, p19-25.
- Block W., Erzinclioglu Y. Z. & Worland M. R. (1990).** Cold resistance in all life stages of two blowfly species (Diptera, Calliphoridae). *Medical and Veterinary Entomology*, **4**: 213-219.
- Bloom S. A. (1981).** Similarity indices in community studies: Potential Pitfalls. *Marine Ecology--Progress Series*, **5**: 125-128.
- Bolton B. (1994).** *Identification guide to the ant genera of the world*. Havard University Press, Cambridge, Massachusetts London, England, 222p.
- Bolton B. (2003).** Synopsis and classification of Formicidae. *Memory of Entomology Institution*, **71**: 1-370.

- Bolton B. (2014).** An online catalog of the ants of the world. Available from <http://antcat.org>. (Consultada 18-Marzo-2015).
- Boulay J. (2015).** *Étude du comportement d'agrégation des larves nécrophages de Diptères : de l'individuel au collectif*. Thèse de doctorat Université de Lille 2 et l'Université Libre de Bruxelles, 151p.
- Boulay J., Aubernon C., Charabidze D. & Gosselin M. (2012).** Quand l'entomologiste devient expert: les insectes nécrophages et la datation du décès. *Espèces*, **5**: 1- 9.
- 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 L. M. & Gosset D. (2001).** Morphine extraction in necrophagous insects remains for determining ante-mortem opiate intoxication. *Forensic Science International*, **120**: 127-131.
- Bourel B., Tournel G., Hedouin V. & Gosset D. (2004).** Entomofauna of buried bodies in Northern France. *International Journal of Legal Medicine*, **118**: 215-220.
- Bray J. R. & Curtis J. T. 1957.** An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, **27**: 325-349.
- Brenner J. (2004).** Forensic science – An illustrated dictionary. CRC press, London, New York, 279 p.
- Britt B. B, Scheetz R. D & Dangerfield A. 2008.** A suite of dermestid beetle traces on dinosaur bone from the Upper Jurassic Morrison Formation, Wyoming, USA. *Ichnos*, **15** (2):59-71.
- Bugajski K. N., Seddon C. C. & Williams R. E. (2011).** A comparison of blow fly (Diptera: Calliphoridae) and beetle (Coleoptera) activity on refrigerated only versus frozen-thawed pig carcasses in Indiana. *Journal of Medical Entomology*, **48**: 1231-1235.
- Bustand L. K & McClellan R. O. (1965).** Use of pigs in biomedical research. *Nature*, **208**: 531-535.
- Batucan L. S Jr & Nuñez O M. 2013.** Ant species richness in caves of Siargao Island Protected Landscape and Seascape, Philippines. *ELBA Bioflux*, **5** (2): 83-92.
- Byrd J. H. & Castner J. L. (2010).** *Forensic Entomology, The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. 2da Edición. CRC Press, USA.

- Campobasso C. P., Di Vella G. & Introna, F. (2001).** Factors affecting decomposition and Diptera colonization. *Forensic Science International*, **120**: 18-27.
- Campobasso C. P., Henry R., Disney L. & Introna F. A. (2004a).** Case of *Megaselia scalaris* (Diptera: Phoridae) Breeding in Human Corpse. *Aggarwal's Internet Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, **5**: 3-5.
- Campobasso C. P., Gherardi M., Caligara M. C., Sironi L., & Introna F. A. (2004b).** Drug analysis in blowfly larvae and in human tissues: a comparative study. *International Journal of Legal Medicine*, **118**: 210-214.
- Campobasso C. P., Marchetti D., Introna F. & Colonna M. F. (2009).** Postmortem artifacts made by ants and the effect of ant activity on decompositional rates. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, **30** (1): 84-87.
- Carter D. O. & Tibbett M. (2006).** The decomposition of skeletal muscle tissue (*Ovis aries*) in a sandy loam soil incubated at different temperatures. *Soil Biology and Biochemistry*, **38**: 1139-45.
- Carter D. O., Yellowlees D. & Tibbett M. (2007).** Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften*, **94** (1): 12-24.
- Carvalho T. D. M. & Conde Godoy W. A. (2013).** Spatio-Temporal Dynamics and Preference for Type of Bait in Necrophagous Insects, Particularly Native and Introduced Blow Flies (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Medical Entomology*, **50** (2): 415-424, DOI: <http://dx.doi.org/10.1603/ME12187>
- Carvalho L. M. L., Thyssen P. J., Goff M. L. & Linhares A. X. (2004).** Observations on the Succession Patterns of Necrophagous Insects on a Pig Carcass in an Urban Area of South Eastern Brazil. *Aggarwal's Internet Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, **5**: 33-39.
- Catts E. P. (1992).** Problem in estimating the postmortem interval in death investigations. *Journal of Agricultural Entomology*, **9**: 245-255.
- Centeno N., Maldonado M. & Oliva A. (2002).** Seasonal patterns of arthropods occurring on sheltered and unsheltered pig carcasses in Buenos Aires Province (Argentina). *Forensic Science International*, **126**: 63-70.
- Chapin F. S., Matson P. A. & Vitousek P. (2011).** *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer, USA, 529p.

- Charabidzé D. (2008).** *Etude de la biologie des insectes nécrophages et application à l'expertise en entomologie médico-légale.* Thèse de Doctorat. Université de Lille 2, 277p.
- Charabidze D. (2012).** La biologie des insectes nécrophages et leur utilisation pour dater le décès en entomologie médico-légale. *Annales de la société entomologique de France*, **48** (3-4): 239-252.
- Charabidzé D. & Bourel B. (2007).** Entomologie médico-légale: les insectes au service de la justice. *Insects*, **147**: 1-3.
- Charabidze D., Bourel B. & Gosset D. (2011).** Larval-mass effect: Characterisation of heat emission by necrophageous blowflies (Diptera: Calliphoridae) larval aggregates. *Forensic Science International*, **211**: 61-6.
- Charabidze D., Bourel B., Morvan G., Hedouin V. & Gosset D. (2008).** ForenSeek, un programme de simulation et d'expertise dédié à l'entomologie médico-légale. *Journal de médecine légale droit médical*, **51**: 131-140.
- Chen C. D., Nazni W. A., Lee H. L., Hashim R., Abdullah N. A., Ramli R., Lau K. W., Heo C. C., Goh T. G., Izzul A. A. & Sofian-Azirun M. (2014).** A preliminary report on ants (Hymenoptera: Formicidae) recovered from forensic entomological studies conducted in different ecological habitats in Malaysia. *Tropical Biomedicine*, **31** (2): 381-386.
- Chen X., Gallar J., Pozo M.A., Baeza M. & Belmonte C. (1995).** CO₂ stimulation of the cornea: a comparison between human sensation and nerve activity in polymodal nociceptive afferents of the cat. *European Journal of Neuroscience*, **7** (6): 1154-1163.
- Cheng C. C. (2004).** Statistical approaches on discriminating spatial variation of species diversity. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, **45**: 339-346.
- Chevillon C., Aubry A. & Rieu M. (2005).** Gestion des cadavres de porcs en France: volumes, organisation et collecte, stockage et traitement. *Techni-porc*, **28** (3): 3-10.
- Claudio J. B. C. & Cátia M. P. (2008).** Key to the adults of the most common forensic species of diptera in South America. *Revista Brasileira de Entomologia*, **52** (3): 390-406.
- Colwell R. K. (2013).** EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from sample. Version 9. User's Guide and application published.
- Combes C. & Guitton C. (1996).** L'homme protégeant l'animal. In : *L'homme et l'animal : De Lascaux à la vache folle*. Ed. Pour la science: p148-153.

- Conseil canadien de protection des animaux (CCPA). (2003).** *Lignes directrices du CCPA sur : le soin et l'utilisation des animaux sauvages.* Ottawa ON : CCPA, http://www.ccac.ca/fr/CCAC_Programs/Guidelines_Policies/GDLINES/Guidelis.htm (consultée le 2017-04-27).
- Conseil canadien de protection des animaux (CCPA). (2005).** *Lignes directrices du CCPA sur : le soin et l'utilisation des poissons en recherche, en enseignement et dans les tests.* Ottawa ON : CCPA, http://www.ccac.ca/fr/CCAC_Programs/Guidelines_Policies/GDLINES/Guidelis.htm (consultée le 2017-04-27).
- Conseil canadien de protection des animaux (CCPA). (2009).** *Lignes directrices du CCPA sur : le soin et l'utilisation des animaux de ferme en recherche, en enseignement et dans les tests.* Ottawa ON : CCPA, http://www.ccac.ca/fr/CCAC_Programs/Guidelines_Policies/GDLINES/Guidelis.htm (consultée le 2017-04-27).
- Conseil canadien de protection des animaux (CCPA). (2010).** *Lignes directrices du CCPA sur : l'euthanasie des animaux utilisés en science.* Ottawa ON : CCPA, http://www.ccac.ca/fr/CCAC_Programs/Guidelines_Policies/GDLINES/Guidelis.htm (consultée le 2017-12-27).
- Cook D. F. & Dadour I. R. (2011).** Larviposition in the ovoviviparous blowfly *Calliphora dubia*. *Medical and Veterinary Entomology*, **25**: 53-57.
- Costa-Silva V., Grella M. D. & Thyssen P. J. (2019).** Optimized Pitfall Trap Design for Collecting Terrestrial Insects (Arthropoda: Insecta) in Biodiversity Studies. *Neotropical Entomology*, **48** (1): 50-56.
- Couri S. M. (2007).** A key to the Afrotropical genera of Muscidae (Diptera). *Revista Brasileira de Zoologia*, **24**: 175-184.
- Dajoz R. (2000).** *Précis d'écologie*. Dumod, France, 615p.
- Danneman P. J., Stein S. & Walshaw S. O. (1997).** Humane and practical implications of using carbon dioxide mixed with oxygen for anesthesia or euthanasia of rats. *Laboratory Animal Science*, **47** (4): 376-385.
- Day D. M. & Wallman J. F. (2006).** Width as an alternative measurement to length for postmortem interval estimations from *Calliphora augur* (Diptera: Calliphoridae) larvae. *Forensic Science International*, **159**: 158-167.

- Day D. M. & Wallman J. F. (2008).** Effect of preservation of *Calliphora augur* and *Lucilia cuprina* larvae (Diptera: Calliphoridae) with implications for post-mortem interval estimates. *Forensic Science International*, **179**: 1-10.
- Dekeirsschieter J. (2012).** *Etude des interactions entre l'entomofaune et un cadavre: approches biologique, comportementale et chémo-écologique du coléoptère nécrophage, Thanatophilus sinuatus Fabricius (Col., Silphidae)*. Thèse de doctorat Gembloux, Belgique, Université de Liege, Gembloux AgroBio Tech, 277p.
- 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*, 21-35.
- Dekeirsschieter J., Frederick C., Verheggen F. J., Drugmand D. & Haubruge E. (2013).** Diversity of Forensic Rove Beetles (Coleoptera, Staphylinidae) Associated with Decaying Pig Carcass in a Forest Biotope. *Journal of Forensic Sciences*, **58** (4): 1032-1040.
- Dekeirsschieter J., Frederickx C., Verheggen F. & Haubruge E. (2010).** L'écologie chimique à l'entomologie forensique. *Le journal des ingénieurs*, **128**: 12-15.
- Dekeirsschieter J., Verheggen F., Frederickx C., Marlet C., Lognay G. & Haubruge E. (2012).** Comment les insectes communiquent-ils au sein de l'"écosystème-cadavre"? L'écologie chimique des insectes nécrophages et nécrophiles. *Entomologie faunistique - Faunistic Entomology*, **65**: 3-13.
- Dekeirsschieter J., Verheggen F.J., Haubruge E. & Brostaux Y. (2011).** Carrion beetles visiting pig carcasses during early spring in urban, forest and agricultural biotopes of Western Europe. *Journal of Insect Science* (Online) **11**: 73.
- Dekeirsschieter J., Verheggen F. J., 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., Verheggen F., Gohy M., Lognay G. & Haubruge E. (2008).** What smell a decaying pig's carcasses, 7th meeting of the European Association for Forensic Entomology, Kolymbari (Greece).
- Del Toro I., Ribbons R. R & Pelini S. L. (2012).** The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, **17**: 133-146.

- Delsinne T., Arias-Penna T. & Leponce M. (2013).** Effect of rainfall exclusion on ant assemblages in montane rainforests of Ecuador. *Basic and Applied Ecology*, **14** (4): 357-365.
- Delvare G. & Alberlenc H. P. (1989).** *Les insectes d'Afrique et d'Amérique. Clés pour la reconnaissance des familles.* CIRAD France, 297p.
- Demange, J. M. & Mauries, J. P. (1975).** Myriapodes-Diplopodes de la région d'Abidjan, Cote d'Ivoire. *Bulletin élu Museum national d'Histoire naturelle. 3^e série*, **201**: 387-399.
- Denno R. F. & Cothran W. R. (1976).** Competitive interactions and ecological strategies of Sarcophagid and Calliphorid flies inhabiting rabbit carrion. *Entomological society of America Annals*, **69** (1): 109-113.
- Dent B. B., Forbes S. L. & Stuart B. H. (2004).** Review of human decomposition processes in soil. *Environmental Geology*, **45**: 576-585.
- Dewaele P., Leclercq M. & Disney R. H. L. (2000).** Entomologie et médecine légale : phorides (Diptères) sur cadavres humains ; observation inédite. *Journal de Médecine Légale Droit Médical*, **43** (7-8): 569-572.
- Dibong S. D., Mony R., Azo'o J. R. N., Din N., Boussim Issaka J. & Amougou Akoa. (2012).** Myrmecofauna fruit trees infected by Loranthaceae orchards Lokomo (East Cameroun). *International Journal of Plant Research*, **2** (1): 59-63. <https://doi.org/10.5923/j.plant.20120201.09>
- Dillon L. C. & Anderson G. S. (1995).** Forensic entomology: the use of insects in death investigations to determine elapsed time since death. *Canadian Police Research Centre, Ottawa. Technical Report TR-05-95.*
- Djiéto-Lordon, C. (2004).** *Structure des communautés de fourmis arboricoles tropicales Implications évolutives et économiques.* Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse III-Paul Sabatier, 221p.
- Domingo Q. T. & Alonso Z. M. A. (2010).** Soil and litter sampling, including MSS. In: Eyman E, Degreef J, Häuser C, Monje JC, Samyn Y, VandenSpiegel D, Eds. *Manual on field recording techniques and protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring. Part 1*, Belgique: p173-212.
- Donoso D. A. & Ramón G. (2009).** Composition of a high diversity leaf litter ant community (Hymenoptera: Formicidae) from an Ecuadorian pre-montane rainforest. *Annales de la Société Entomologique de France*, **45** (4): 487-499.

- Eduardo R. S., José A. R., Francisco F. X. F., Juliana O. D. S. F., Janyra O. C. & Alexandre U. R. (2014).** First Medicolegal Forensic Entomology Case of Central Amazon: A Suicide by Hanging with Incomplete Suspension. *Entomology Brasiliis*, **7** (1): 12-15.
- European Food Safety Authority « EFSA » (2005).** Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to "Aspects of the biology and welfare of animals used for experimental and other scientific purposes". *European Food Safety Authority Journal*, **3** (12): 1-183, http://www.efsa.europa.eu/en/science/ahaw/ahaw_opinions/1286.html (consultée le 2018-08-27).
- Faria L. S., Paseto M. L., Franco F. T., Perdigão V. C. & Capel G. (2013).** Mendes Insects breeding in pig carrion in two environments of a rural area of the state of Minas Gerais, Brazil. *Neotropical Entomology*, **42**: 216-222.
- Feng Y. & Simpson T. L. (2003).** Nociceptive sensation and sensitivity evoked from human cornea and conjunctiva stimulated by CO₂. *Investigative Ophthalmology et Visual Science*, **44** (2): 529-532.
- Feugang Youmessi F. D. (2014).** *Etude des indicateurs entomologiques utilisables lors des enquêtes criminelles: cas des Arthropodes de Rattus norvegicus (Berkenhout, 1769) (Muridé), souche wistar à Yaoundé.* Thèse de Doctorat/Ph.D. Université de Yaoundé I, 175p.
- Feugang Youmessi F. D., Bilong Bilong C. F., Cherix D. & Djieto-Lordon C. (2012).** Biodiversity study of arthropods collected on rat carrion in Yaounde, Cameroon: First study on forensic entomology in Central Africa. *International Journal of Biosciences*, **2** (1): 1-8.
- Fittkau E. J & Klinge H. (1973).** On biomass and trophic structure of the central Amazonian rain forest ecosystem. *Biotropica*, **5**: 2-14.
- Forbes S. & Perrault K. (2014).** Decomposition odour profiling in the air and soil surrounding vertebrate carrion. *PLoS ONE*, **9**, doi:10.1371/journal.pone.0095107.
- Frederickx C., Dekeirsscheiter J., Verheggen F. J. & Haubruge E. (2011).** L'entomologie forensique, les insectes résolvent les crimes. *Entomologie faunistique - Faunistic Entomology*, **63** (4): 237-249.
- Frontier S. (1983).** L'échantillonnage de la diversité spécifique. In *Stratégie d'échantillonnage en écologie*, Frontier et Masson édit., Paris (Collection D'Écologie), p18-494.
- Fuller M. E. (1934).** The insect inhabitants of carrion: a study in animal ecology. *Bulletin Council for Scientific and Industrial Research Australia*, **82**: 1-62.

- Gagliano-Candela R. & Aventaggiato L. (2001).** The detection of toxic substances in entomological specimens. *International Journal of Legal Medicine*, **114**: 197-203.
- Garcia-Rojo A. M. (2004).** A study of the insect succession in carcasses in Alcala de Henares (Madrid administrative region, Spain) using pigs as animal models. *Boletin de la S.E.A*, **34**: 263-269.
- Gaudry E. (2002).** Eight squadrons for one target: the fauna of cadaver described by J.P. Mégnin. *Proceeding of the First European Forensic Entomology Seminar*: p31-36.
- Gaudry E., Dourel L., Chauvet B., Vincent B. & Pasquerault T. (2007).** L'Entomologie Légale : Lorsque Insecte Rime avec Indice. *Revue Francophone des Laboratoires*, **392**: 23-32.
- Gay W. I. (1965).** Method of Animal Investigation. vol. 1, p. 115. Academic Press, New-York and London. Library of congress, catalog. card. number. **62**: 246-257.
- Gennard E. D. (2007).** *Forensic Entomology: An Introduction*. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England, 244p.
- GIRCOR. (2009).** *Guide de l'évaluation éthique des études sur les animaux*. 1^{ère} édition, Boulogne-Billacourt-France.
- Go M. C. 2018.** A Case of Human Bone Modification by Ants (Hymenoptera: Formicidae) in the Philippines. *Forensic Anthropology*, **1** (2): 117-123.
- Goff, M. L. (1991).** Comparison of insect species associated with decomposing remains recovered inside dwellings and outdoors on the island of O'hau, Hawaii. *Journal of Forensic Sciences*, **36** (3): 748-753.
- Goff M. L. (1992).** Problems in estimation of postmortem interval resulting from wrapping of the Corpse: A case study from Hawaii. *Journal of Agricultural Entomology*, **9** (4): 237-243.
- Goff M. L. (1993).** Estimation of postmortem interval using arthropod development and successional patterns. *Forensic Science Review*, **5** (2): 81-94.
- Goff M. L. (2009).** Early post-mortem changes and stages of decomposition in exposed cadavers. *Experimental and Applied Acarology*, **49**: 21–36.
- Goff M. L., Brown W. A. & Omori A. I. (1992).** Preliminary Observations of the Effect of Methamphetamine in Decomposing Tissues on the Development Rate of *Parasarcophaga ruficornis* (Diptera: Sarcophagidae) And Implications of This Effect on the Estimations of Post Mortem Intervals. *Journal of Forensic Sciences*, **37**: 867-872.

- Goff M. L., Brown W. A., Omori A. I. & Lapointe D. A. (1993).** Preliminary observations of the effects of amitriptyline in decomposing tissues on the development of *Parasarcophaga ruficornis* (Diptera: Sarcophagidae) and implications of this effect to estimation of postmortem interval. *Journal of Forensic Sciences*, **38**: 316-322.
- Goff M. L., Brown W. A., Omori A. I. & LaPointe D. A. (1994).** Preliminary observations of the effects of phencyclidine in decomposing tissues on the development of *Parasarcophaga ruficornis* (Diptera: Sarcophagidae). *Journal of Forensic Sciences*, **39**: 123-128.
- Goff M. L. & Win B. (1997).** Estimation of postmortem interval based on colony development time for *Anoplolepis longipes* (Hymenoptera: Formicidae). *Journal of Forensic Sciences*, **42** (6): 1176–1179.
- Gomes L., Godoy W. A. C. & Von Zuben C. (2006).** A review of postfeeding larval dispersal in blowflies: implications for forensic entomology. *Naturwissenschaften*, **93**: 207-215.
- Gomes L., Gomes G., Oliveira H. G., Morlin Jr J. J., Desuo I. C., Queiroz M. M. C., Giannotti E., & Von Zuben C. J. (2007b).** Occurrence of Hymenoptera on *Sus scrofa* carcasses during summer and winter seasons in southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, **51**: 394-396.
- Gomes L., Gomes G., Oliveira H. G., Morlin Jr J. J., Desuo I. C., Silva I. M., Shima S. N., & Von Zuben C. J. (2007a).** Forrageamento de *Polybia* (Trichothorax) *ignobilis* sobre moscas visitantes de carcaças animais. *Revista Brasileira de Entomologia*, **51**: 389-393.
- Goodbrod J. R. & Goff M. L. (1990).** Effects of larval population density on rates of development and interactions between two species of *Chrysomya* (Diptera: Calliphoridae) in laboratory culture. *Journal of Medical Entomology*, **27** (3): 338-343.
- Grall J. & Coïc N. (2006).** Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier. Réseau benthique, France, 91p.
- Grassberger M. & Frank C. (2004).** Initial study of arthropod succession on pig carrion in a central European urban habitat. *Journal of Medical Entomology*, **41**: 511-23.
- Grassberger M. & Reiter C. (2001).** Effect of temperature on *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) development with special reference to the isomegalen- and isomorphendiagram. *Forensic Science International*, **120**: 32-36.
- Greenberg B. (1985).** Forensic Entomology: Case studies. *Bulletin of the Entomological Society of America*, **31** (4): 25-28.

- Greenberg B. (1990).** Nocturnal oviposition behavior of blow flies (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Medical Entomology*, **27** (5): 807-810.
- Greenberg B. & Kunich J. C. (2002).** Entomology and the law. Flies as forensic indicators. Cambridge University Press, Cambridge, 306p.
- Gregory N. G. & Wotton S. B. (1990).** Effect of stunning on spontaneous physical activity and evoked activity in the brain. *British Poultry Science*, **31** (1): 215-220.
- Grimaldi D. & Engel M. S. (2005).** *Evolution of the Insects*. Cambridge University Press. UK, 755p.
- Grzywacz A., Ogiela J. & Tofilski A. (2017).** Identification of Muscidae (Diptera) of medico-legal importance by means of wing measurements. *Parasitology Research*, **116** (5): 1495-1504.
- Haglund W. D. & Sorg M. H. (1997).** *Forensic Taphonomy: the postmortem fate of human remains*. CRC Press, Boca Raton, 884p.
- Halffter G., Pineda E., Arellano L. & Escobar F. (2007).** Instability of copronecrophagous beetle assemblages (Coleoptera: Scarabaeinae) in a mountainous tropical landscape of Mexico. *Environmental Entomology*, **36**: 1397-1407.
- Hall R. D. (2001).** Introduction: Perceptions and status of Forensic in *Forensic Entomology: the Utility of Arthropods in Legal Investigations*. p1-16, CRC Press, Boston.
- Hall R. D. (2008).** Forensic Entomology, In: *Encyclopedia of Entomology*, (Eds: J.L. Capinera). Springer Netherlands. 4346p.
- Hall R.D. & Huntington T.E. (2009).** Introduction: Perceptions and status of Forensic Entomology. In J. H. Castner and J. L. Byrd (éds.), *Forensic Entomology: the Utility of Arthropods in Legal Investigations*, **2**: 1-16, CRC Press, Boca Raton.
- Hall R. D & Huntington T. E. (2010).** Introduction: Perceptions and Status of Forensic Entomology. In: Byrd JH and Castner JL (eds.) *Forensic Entomology, The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. 2da Edición. CRC Press, USA, p1-16.
- Hamelin É. (2005).** Nouveau monde, nouvelles tendances. *Porc Magazine*, **390**: 44-47.
- Hamer M. L., (1999).** An illustrated key to the Spirostreptida (Diplopoda: Spirostreptida) genera of South Africa. *Annal of the Natal Museum*, **40**: 1-22.

- Hanski I. (1987).** Colonisation of ephemeral habitats, in: A.J. Gray, M.J. Crawley, P.J. Edwards (Eds.), *Colonisation, Succession and Stability*, Blackwell, Oxford, p155-185.
- Hanski I. (1990).** Dung and carrion insects, in: B. Shorrocks, I.R. Swingland (Eds.), *Living in a Patchy Environment*, Oxford University Press, Oxford, p127-145.
- Harsanyi L. (1993).** Differential diagnosis of human and animal bone. In: Grupe G, Garland AN, editors. *Histology of ancient human bone: methods and diagnosis*. Berlin, Germany: Springer-Verlag: p79-94.
- Hart L. A, Hart B. L. & Mader B. (1990).** Humane euthanasia and companion animal death : Caring for the animal, the client, and the veterinarian. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, **197** (10): 1292-1299.
- Hassane Dao., Aboua L. R. N., Agboka K., Koffi A. F. & Djodjo M. (2019a).** Influence des saisons sur l'activité des insectes nécrophages dans le processus de décomposition de cadavres de porc (*Sus scrofa domesticus* L.) exposés à l'air libre en zone sub-soudanaise de Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, **15** (1): 361-376.
- Hassane Dao., Aboua L. R. N., Koffi A. F., Agboka K., Tuo Y. & Yapo Y. E. C. (2018).** Influence of the ecological zone on the necrophagous insects' activities involved in the process of decomposition of pig carcasses (*Sus scrofa domesticus* L.) exposed to the open air in the sub-soudanese zone of Côte d'Ivoire. *International Journal of Entomology Research*, **3** (5): 7-16.
- Hassane Dao., Aboua L. R. N., Yalamoussa T. U. O., Koffi A. F. & Yapo C. E. Y. (2019b).** Diversity of the entomological fauna associated with pig carcasses (*Sus Scrofa domesticus* L.) exposed in the open air in the Sudano-Guinean and Sub-Sudanese zones of Côte d'Ivoire. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, **7** (2): 1338-1344.
- Hawkins P., Playle L., Golledge H., Leach M., Banzett R., Coenen A., Cooper J., Danneman P., Flecknell P., Kirkden R., Niel L. & Raj M. (2006).** *Newcastle consensus meeting on carbon dioxide euthanasia of laboratory animals* [meeting report]. Londres R.-U. : National Centre for the Replacement, Reduction and Refinement of Animals in Research (NC3Rs), <http://www.nc3rs.org.uk/document.asp?id=1311> (consultée le 2010-08-27).
- Hoffman R. L. (2005).** *Monograph of the Gomphodesmidae, a family of African poludesmoid millipedes*. Verlag des Naturhistorischen Museums Wien, Vienna. ISBN: 3902421029.
- Hogan D. (1999).** "Nature's Detectives." *Current Science*, 83p.

- Hölldobler B. & Wilson E. O. (1990).** *The ants*. The Belknap Press of Harvard University Press: Cambridge, Massachusetts, USA: 732 p.
- Holt G. G., Adams T. S. & Sundet W. D. (1979).** Attraction and ovipositional response of screwworms, *Cochliomyia hominivorax* (Diptera: Calliphoridae) to stimulated bovine wounds. *Journal of Medical Entomology*, **16**: 248-253.
- Hutton G. F. & Wasti S. S. (1980).** Competitive interactions between larvae of the green bottle fly, *Phaenicia sericata* (Meigen) and the black blow fly, *Phormiargina* (Meigen). *Comparative Physiology and Ecology*, **5**: 1-4.
- Hwang C. & Turner B. (2005).** Spatial and temporal variability of necrophagous Diptera from urban to rural area. *Medical and Veterinary Entomology*, **19**: 379-391.
- Ikeda H., Shimano S. & Yamagami A. (2010).** Differentiation in searching behavior for carcasses based on flight height differences in carrion beetles (Coleoptera: Silphidae), *Journal of Insect Behavior*, **24**: 167-174.
- Introna F. Jr, Campobasso C. P. & Di F. A. (1998).** Three case studies in forensic entomology from southern Italy. *Journal of Forensic Sciences*, **43**: 210-214.
- Introna F. Jr, Suman T. W. & Smialek J. E. (1991).** Sarcosaprophagous fly activity in Maryland. *Journal of Forensic Sciences*, **36**: 238-243.
- Irish S., Lindsay T. & Wyatt N. (2014).** Key to adults of Afrotropical species of the genus *Chrysomia* Robineau-Desvoidy (Diptera: Calliphoridae). *African Entomology*, **22** (2): 297-306.
- Jacquemin J., Drouet T., Delsinne T., Roisin Y. & Leponce M. (2012).** Soil properties only weakly affect subterranean ant distribution at small spatial scales. *Applied Soil Ecology*, **62**: 163-169.
- Johl H. K. & Anderson G. S. (1996).** Effects of refrigeration on development of the blow fly, *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae) and their relationship to time of death. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, **93**: 93-98.
- Johnson A. P., Archer M., Leigh-Shaw L., Brown M., O'Donnell C. & Wallman J. (2012).** Non-invasive visualisation and volume estimation of maggot masses using computed tomography scanning. *International Journal of Legal Medicine*. DOI 10. 1007/s00414-012-0673-y.

- Johnson A. P., Wallman J. F. & Archer M. S. (2012b).** Experimental and casework validation of ambient temperature corrections in forensic entomology. *Journal of Forensic Sciences*, **57**: 215-221.
- Joint Institutional Review Board for Animal and Humans Bioethics (JIRBAHB) - Centre de Recherche et de formation Doctorale Sciences de la Vie Environnement - Centre de Recherche et formation Doctoral, Science de la Vie, Sante et Environnement (CRFD-SVSE). (2021).** *Guide de préparation du document de saisine*. Comité d'éthique appliquée à l'expérimentation animale, Université de Yaoundé I, 14p.
- Joncour G. (2011).** Comment euthanasier en milieu inaccessible pour l'équarrisseur ? *Le point vétérinaire*, **312**: 56 - 60.
- Jueya S., Mony R. & Djieto-Lordon C. (2019).** Ants Associated to Loranthaceae in an Agroecosystem Based on Cocoa Trees in Nkolbisson (Yaounde: Cameroon). *Journal of Agricultural Science*, **11** (8): 90-99. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n8p90>.
- Kapil V. & Reject P. M. P. (2013).** Assessment of Post Mortem Interval, (PMI) from Forensic Entomotoxicological Studies of Larvae and Flies. *Entomology, Ornithology & Herpetology*, **2** (1): 1-4
- Kaspari M. (1996).** Litter ant patchiness at the 1-m 2 scale: disturbance dynamics in three Neotropical forests. *Oecologia*, **107**: 265–273.
- Keh B. (1985).** Scope and applications of forensic entomology. *Annual Review of Entomology*, **30**: 137-154.
- Kelling J., Biancaniello G. & DenOtter C.J. (2003).** Effect of age and sex on the sensitivity of antennal and palpal olfactory cells of houseflies. *Entomologia Experimentalis Applicata*. **106**: 45-51.
- Kelly J.A., Van Der Linde T.C. & Anderson G.S. (2008).** The influence of clothing and wrapping on carcass decomposition and arthropod succession: a winter study in central south Africa, Canadian Society. *Forensic Science Journal*, **41** (3): 135-147.
- Kharbouche H., Augsburger M., Cherix D., Sporkert F., Giroud C., Wyss C., Champod C. & Magin P. (2008).** Codeine accumulation and elimination in larvae, pupae, and imago of the blowfly *Lucilia sericata* and effects on its development. *International of Journal Legal Medicine*, **122**: 205-211.
- Khoobdel M. & Davari B. (2011).** Fauna and abundance of medically important flies of Muscidae and Fanniidae (Diptera) in Tehran, Iran. *Asian Pacific Journal of Tropical Medecine*. **4**: 220-223.

- Kocàrek P. (2003).** Decomposition and Coleoptera succession on exposed carrion of small mammal in Opava, the Czech Republic. *European Journal of Soil Biology*, **39**: 31-45.
- Koffi A. L., Aboua L. R. N., Djodjo M., Hassane DAO., Koffi-Tebele J. D. E. & Kpama-Yapo C. Y. E. (2017b).** Contribution of different groups of necrophagous insects, in the process of decomposition of a pig corpse (*Sus scrofa domesticus* L.) exposed to the open air, in the guinean zone of Côte d'Ivoire. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science*, **3** (9): 14-22.
- Koffi A. F., Aboua L. R. N., Hassane Dao., Djojo M., Koffi-Tebele J. D. E. & Kpama-Yapo C. Y. E. (2017a).** Process of Colonization by Necrophagous Insects, of a Pig Corpse (*Sus scrofa domesticus* L.) Exposed at Open Air, in the Southern Forest Zone of Côte d'Ivoire. *International Journal of Current Research and Academic Review*, **5** (7): 103-114.
- Koffi A. F., Aboua L. R. N., Kone B. A., Fofana D., Hassane Dao & Djodjo M. (2018).** Dynamics of the main necrophagous Diptera populations of forensic interest, in the Guinean zone of Côte d'Ivoire. *International Journal of Entomology Research*, **3** (2): 11-22.
- Kraus O. (1960).** Athiopische Diplopoden 1. Monographie der odontopygidae-odontopyginae (Diplopoda, Spirostreptoidea). *Annales du Musée du Congo Belge Zoologie*, **82** :1-207.
- Kraus O. (1966).** Phylogenie, Chorologie und systematik der odontopygoideen (Diplopoda, Spirostreptomorpha). *Abhandlungen der Senckenbergischen Gesellschaft für Naturforschung*, **512** :1-143.
- Krebs C. J. (1994).** *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 4th edition, Harper Collins, New York. 801p.
- Kreitlow K. (2010).** Insect Succession in a Natural Environment. In J. Byrd, & J. Castner (Eds.), *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, **2**: 251-269.
- Krystal R. H. (2016).** *Using an ecological framework to resolve issues in forensic entomology: exploring temperature mediation of species interactions within blow fly (Diptera: Calliphoridae) communities*. Electronic Theses University of Windsor, 173p.
- Kulshrestha P. & Satpathy D. K. (2001).** Use of beetles in forensic entomology. *Forensic Science International*, **120**: 15-17.

- Ladoh Yemeda C. F., Mony R., Tchatat M. & Dibong S. D. (2013).** Contribution des fourmis à la lutte biologique contre les Loranthaceae. *International Journal Biological Chemical Sciences*, **7**(3): 924-937. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i3.4>
- Lane R. P. (1975).** An investigation into blowfly succession on corpses. *Journal of Natural History*, **9** (5): 581-588.
- Lavinia I. P. & Corneliu P. (2013).** Necrophagous entomofauna (Diptera, Coleoptera) on *Meles Meles* (L) (Mammalia: Mustelidae) carcasses within different conditions of exposure in Bucharest (Romania). *Travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle ((Grigore Antipa))*. **56** (1): 45-63.
- Le Bail, L. (2003).** *La mort de l'animal de compagnie*. These de Doctorat Vétérinaire, École Nationale Vétérinaire d'Alfort, 113p.
- Leach M. C., Bowell V. A., Allan T. F. & Morton D. B. (2002).** Aversion to gaseous euthanasia agents in rats and mice. *Comparative Medicine*, **52** (3): 249-257.
- Leccese A. (2004).** Insects as forensic indicators: methodological aspects. *Aggrawal's internet journal of forensic medicine and toxicology*, **5** (1): 26-32.
- Leclercq M. (1993).** Entomologie et Médecine légale: Datation de la mort sur des documents photographiques. *Revue médicale de Liège*, **48**: 279-283.
- Leclercq M. & Brahy G. (1990).** Entomologie et médecine légale: origines, évolution, actualisation. *Revue médicale de Liège*, **65** (7): 348-358.
- Leclercq M. & Verstraeten C. (1988).** Entomologie et médecine légale, datation de la mort: insectes et autres Arthropodes trouvés sur les cadavres humains. *Bulletin Annuals Society Belge Enomology*, **124**: 311-316.
- Leclercq M. & Verstraeten C. (1993).** Entomologie et Médecine légale: L'entomofaune des cadavres humains: sa succession par son interprétation, ses résultats, ses perspectives. *Journal de Médecine légale Droit medical*, **36** (3-4): 205-222.
- Legendre P. & Legendre L. 1998.** *Numerical ecology*. 2nd English edition. Elsevier Science BV, Amsterdam, p1-853.
- Lemonnier A. & Reguardati S. (2012).** Datation par la méthode entomologique, cours d'entomologie légale. *Museum National d'Histoire Naturelle*: 9p.

- Lerner K. L. & Lerner B. W. (2006).** *World of forensic science*. Thomson, New York, San Francisco, London, Munich, volume 2: 812p.
- Levot G. W., Brown K. R. & Shipp, E. (1979).** Larval growth of some Calliphorid and sarcophagid Diptera. *Bulletin of Entomological Research*, **69**: 469-475.
- Lindgren N. K., Bucheli S. R., Archambeault A. D. & Bytheway J. A. (2011).** Exclusion of forensically important flies due to burying behavior by the red imported fire ant (*Solenopsis invicta*) in southeast Texas. *Forensic Science International*, **204** (1): e1–e3.
- Lord, W. D. & Burger, J. F. (1983).** Collection and preservation of forensically important entomological materials. *Journal of Forensic Sciences*, **28** (4): 936-944.
- Ludes B., Tracqui A., Kintz P. & Raul J. S. (2003).** Cours de médecine légale, Faculté de Médecine de Strasbourg. http://www.ulpmmed.ustrasbg.fr/medecine/cours_en_ligne/e_cours/medecine_legale.htm/ (avril 2017)
- Lutz L., Kirstin A. W., Villet M. H., Ekanem M. & Szpila K. (2018).** Species identification of adult African blowflies (Diptera: Calliphoridae) of forensic importance. *International Journal of Legal Medicine*, **132**: 831-842.
- Magni P. A., Pacini T., Pazzi M., Vincenti M. & Dabourd I. R. (2014).** Development of a GC-MS method for methamphetamine detection in *Calliphora vomitoria* L. (Diptera: Calliphoridae). *Forensic Science International*, **241**: 96-101.
- Makowska I. J., Vickers L., Mancell J. & Weary D. M. (2009).** Evaluating methods of gas euthanasia for laboratory mice. *Applied Animal Behaviour Science*, **121** (4): 230-235.
- Manish S. & Devinder S. (2015).** Historical approach of Forensic Entomology: A review. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, **2** (9): 2350-0328.
- Mann R. W., Bass W. M. & Meadows L. (1990).** Time since death and decomposition of the human body: Variables and observations in case and experimental field studies. *Journal of Forensic Sciences*, **35** (1): 103-111.
- Mansfield N. (2003).** An overview of forensic entomology in criminal proceedings and the various environmental factors that must be taken into consideration, <http://www.bencke.com/natalie.html> , 1-12.

- Marchenko M. I. (2001).** Medicolegal relevance of cadaver entomofauna for the determination of time of death. *Forensic Science International*, **120**: 89-109.
- Marguenaud J. P. (2010).** Droit des animaux: on en fait trop ou trop peu? *Entretien au Dalloz*, 816p.
- Marguenaud J. P. (1992).** *L'animal en droit privé*. Thèse Droit, Clermont-Ferrand, 577p.
- Marguenaud J. P. (1998).** La personnalité juridique des animaux. *Recueil Dalloz, Chroniques*, 207p.
- Marguenaud J. P. & Demogue R. 2015.** Pensez le statut juridique des animaux : plaidoyer pour la technique juridique de la personnalité. *Revue Juridique de l'Environnement*, **40**: 67-72.
- Martin C., Minchilli D., Francis F. & Verheggen F. (2020).** Behavioral and Electrophysiological Responses of the Fringed Larder Beetle *Dermestes frischii* to the Smell of a Cadaver at Different Decomposition Stages. *Insects*, **11**(238) : 1-10.
- Martin C., Vanderplanck M., Boullis A., Francis F., Haubruge E. & Verheggen F. (2019).** Impact of necrophagous insects on the emission of volatile organic compounds released during the decaying process. *Entomologia Generalis*, **39**: 19-31.
- Matthanawee S., Sureerat D. & Buntika Areekul B. (2015).** Decomposition Stages and Carrion Insect Succession on Dressed Hanging Pig Carcasses in Nan Province, Northern Thailand. *Tropical Natural History*, **15** (2): 137-153.
- Matuszewski S. (2011).** Estimating the pre-appearance Interval from temperature in *Necrodes littoralis* L. (Coleoptera: Silphidae). *Forensic Science International*, **212**: 180-188.
- Matuszewski S. (2012).** Estimating the preappearance interval from temperature in *Creophilus maxillosus* L. (Coleoptera: Staphylinidae). *Journal of Forensic Sciences* **57**: 136-145.
- Matuszewski S., Bajerlein D., Konwerski S. & Szpila K. (2008).** An initial study of insect succession and carrion decomposition in various forest habitats of Central Europe. *Forensic Science International*, **180** :61-69.
- Matuszewski S., Bajerlein D., Konwerski S. & Szpila K. (2011).** Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 3: succession of carrion fauna. *Forensic Science International*, **207**: 150-163.
- Matuszewski S., Szfałowicz M. & Grzywacz A. (2014).** Temperature-dependent appearance of forensically useful flies on carcasses. *International Journal of Legal Medicine*, **128**: 1013-1020

- Maurin-Blanchet H. (2001).** Euthanasie de l'animal de laboratoire. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, **154**: 185-194.
- Megnin P. (1894).** *La faune des cadavres. Application de l'entomologie à la médecine légale.* Encyclopédie scientifique des aides-mémoires, Masson et Gauthier-Villards, Paris, 214p.
- Megyesi M. S., Nawrocki S. P., & Haskell N. H. (2005).** Using accumulated degree-days to estimate the postmortem interval from decomposed human remains. *Journal of Forensic Sciences*, **50**: 618-626.
- Mehdi L. (2015).** *La mort donnée aux animaux une approche historique.* Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, p116.
- Merritt R. W., Higgins M. J. & Wallace J. R. (2000).** Encyclopedia of forensic science. *Entomology*, **3**: 699-705.
- Mertl A., Sorenson M. & Traniello J. (2010).** Community-level interactions and functional ecology of major workers in the hyperdiverse ground-foraging Pheidole (Hymenoptera, Formicidae) of Amazonian Ecuador. *Insectes Sociaux*, **57**: 441-452.
- Meyer R. E., Whitley J. T., Morrow W. E. M., Strikeleather L. F., Baird C. L., Rice J. M., Halbert B. V., Styles D. K. & Whisnant C. S. (2013).** Effect of physical and inhaled euthanasia methods on hormonal measures of stress in pigs. *Journal of Swine Health and Production*, **12**: 261-269.
- Michaud J. P. & Moreau G. (2009).** Predicting the visitation of carcasses by carrion-related insects under different rates of degree-day accumulation. *Forensic Science International*, **185**: 78–83.
- Midgley J. M. & Villet M. H. (2008).** Development of *Thanatophilus micans* (Fabricius 1794) (Coleoptera: Silphidae) at constant temperatures. *International Journal of Legal Medicine*, **123**: 285-92.
- Mikeska J.A. & Klemm W.R. (1975).** EEG evaluation of humaneness of asphyxia and decapitation euthanasia of the laboratory rat. *Laboratory Animal Science*, **25**: 175-179.
- Miller M. L., Lord W. D., Goff M. L., Donnelly B., McDonough E. T & Alexis J. C. (1994).** I 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.
- Minchilli D. (2020).** *Thanatochimie : caractérisation de l'odeur de décomposition d'un cadavre et réponse olfactive des coléoptères nécrophages.* Master bioingénieur en gestion des forêts et des espaces naturels, 101p.

- Minelli A. (2011).** *Treatise on zoology- Anatomy, Taxonomy, Biology the Myriapoda*. Volume 1. Leiden-Boston, Brill., 523p.
- Mony R., Ondoua J. M., Dibong S. D., Boussim I. J., Amougou A., & Bilong Bilong C. F. (2009).** Myrmécofaune arboricole associée aux couples *Phragmanthera capitata* (Sprengel) S. Balle/hôte au verger de la chefferie de Ndogbong. *Journal of Biological and Chemical Sciences*, **3**: 1346-1356.
- Moreau C. S & Bell C. D. (2013).** Testing the museum versus cradle tropical biological diversity hypothesis: phylogeny, diversification, and ancestral biogeographic range evolution of the ants. *Evolution*, **67**: 2240-2257.
- Moretti T. C., Giannotti E., Thyssen P. J., Solis D. R., & Godoy W. A. C. (2011).** Bait and Habitat Preferences, and Temporal Variability of Social Wasps (Hymenoptera: Vespidae) Attracted to Vertebrate Carrion. *Entomological Society of America*, **48** (5): 1069-1075.
- Moretti, T. C. & Ribeiro O. B. 2006.** *Cephalotes clypeatus* Fabricius (Hymenoptera: Formicidae): Hábitos de Nidificação e Ocorrência em Carcaça Animal. *Neotropical Entomology*, **35**: 412-415.
- Moretti T. C., Solis D. R. & Godoy W. A. C. 2013.** Ants (Hymenoptera: Formicidae) collected with carrion-baited traps in Southeast Brazil. *Open Forensic Science Journal*, **6**: 1-5.
- Moretti T. C., Thyssen P. J., Godoy W. A. C., & Solis D. R. (2008).** Necrophagy by the social wasp *Agelaia pallipes* (Hymenoptera: Vespidae, Epiponini): possible forensic implications. *Sociobiology*, **51**: 393-398.
- Mougeat K. (2012).** *L'entomologie Forensique*. Thèse de doctorat N° 049 Université de Nantes: 41p.
- Moura M. O., Carvalho C. J. D. & Monteiro-Filho E. L. (1997).** A preliminary analysis of insects of medico-legal importance in Curitiba, State of Paraná. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, **92**: 269-274.
- Mouret S. (2005).** Travailler en élevage industriel de porcs: «on s'y fait de toute façon c'est comme ça». *Travailler*, **14**: 21-46.
- Mouret S. & Porcher J. (2007).** Les systèmes industriels porcins : la mort comme travail ordinaire. *Natures Sciences Sociétés*, **15**: 245-252.
- Musvasva E., Williams K. A., Muller W. J. & Villet M. H. (2001).** Preliminary observations on the effects of hydrocortisone and sodium methohexital on development of *Sarcophaga* (*Curranea*)

tibialis Mac quart (Diptera: Sarcophagidae), and implications for estimating post mortem interval. *Forensic Science International*, **120**: 37-41.

- Myskowiak J-B., Chauvet B., Pasquerault T., Rocheteau C. & Vian J-M. (1999).** Synthèse de six années d'activité en entomologie médico-légale. L'intérêt des insectes nécrophages en police judiciaire. *Annual Society Entomology France*, **35**: 569-572.
- Myskowiak J. B. & Doums C. (2002).** Effects of refrigeration on the biometry and development of *Protophormia terranova* (Robineau-Desvoidy) (Diptera: Calliphoridae) and its consequences in estimating post-mortem interval in forensic investigations. *Forensic Science International*, **125**: 254-261.
- Niel L., Stewart S. A. & Weary D. M. (2008).** Effect of flow rate on aversion to gradual-fill carbon dioxide exposure in rats. *Applied Animal Behaviour Science*, **109** (1): 77-84.
- Niel L. & Weary D. M. (2006).** Behavioural responses of rat to gradual-fill carbon dioxide euthanasia and reduced oxygen concentrations. *Applied Animal Behaviour Science*, **100** (3-4): 295-308.
- Noll F. B. & Gomes B. (2009).** An improved bait method for collecting Hymenoptera, especially social wasps (Vespidae: Polistinae). *Neotropical Entomology*, **38**: 477-481.
- O'Brien C. & Turner B. (2004).** Impact of paracetamol on *Calliphora vicina* larval development. *International Journal of Legal Medicine*, **118**: 188-189.
- O'Donnell, S. 1995.** Necrophagy by Neotropical swarmfounding wasps (Hymenoptera: Vespidae, Epiponini). *Biotropica*, **27**: 133-136.
- Ohshima T. 2000.** Forensic Wound examination. *Forensic Science International*, **113**: 153-164.
- Oliveira T. C. & Vasconcelos S. D. (2010).** Insects (Diptera) associated with cadavers at the Institute of Legal Medicine in Pernambuco, Brazil: Implications for forensic entomology. *Forensic Science International*, **128**: 97-102.
- Omar B., Marwi M. A., Ahmad A., Zuha R. M. & Jeffery J. (2003).** Synanthropic index of flies (Diptera: Muscidae and Calliphoridae) collected at several locations in Kuala Lumpur and Gombak, Malaysia. *Tropical Biomedicine*, **20** (1): 77-82.
- Ondoua J. M., Mony R., Dibong S. D., Ngotta Biyon J. B., Taffouo V. D. Kenne M. & Ekodeck G. E. (2016).** Myrmecofauna of cocoa trees infested by Loranthaceae genus *Phragmanthera* in Sodecao

seed fields of Nkoemvone (South of Cameroon). *Journal of Entomology and Nematology*, **8** (3), 19-27. <https://doi.org/10.5897/JEN2016.0154>.

- Ozdemir S. & Sert O. (2009)**. Determination of Coleoptera fauna on carcasses in Ankara province, Turkey. *Forensic Science International*, **183**: 24-32.
- Patel. F. 1994**. Artifact in forensic medicine: Postmortem rodent activity. *Journal of Forensic Science*, **39**: 257-260.
- Payne J. A. (1965)**. A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. *Ecology*, **46** (5): 592-602.
- Payne J. A., King E. W. et Beinhart G. (1968)**. Arthropod succession and decomposition of buried pigs. *Nature*, **219**: 1180-1181.
- Pearson T. H. & Rosenberg R. (1978)**. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, **16**: 229-311.
- Peet R. K. (1974)**. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **5**: 285-307.
- Peeters C. & Molet M. (2010)**. Colonial Reproduction and Life Histories. In: Lach L, Parr CL and Abbott KL (eds.) *Ant Ecology*. Oxford University Press, USA, Chapter 9, p159-176.
- Pereira E. K. C., Andrade-Silva J., Silva O., Santos C. L. C., Moraes L. S., Abreu Bandeira M. C., Rocha Silva C. R. & Rebêlo J. M. M. 2017**. *Solenopsis saevissima* (Smith) (Hymenoptera: Formicidae) activity delays vertebrate carcass decomposition. *Sociobiology*, **64** (3): 369-372.
- Porat O. (1894)**. Zur Myriopodenfauna Kameruns. Bihang till K. Svenskavet. akad. **20**, 1-434- 90. pp.295-303. In: Fortey, R. A. & Thomas, R. H. (eds.) *Arthropod Relationships, The Texas Memorial Museum*, **27**: 327 p.
- Porcher J. (2003a)**. Bien-être et souffrance en élevage: conditions de vie au travail des personnes et des animaux. *Sociologie du travail*, **45**: 27-43.
- Porcher J. (2003b)**. *La Mort n'est pas notre métier*. La Tour d'Aigues, L'Aube, 220p.
- Prado e Castro C., García M-D., Martins da Silva P., Faria e Silva I. & Serrano A. (2013)**. Coleoptera of forensic interest: a study of seasonal composition and succession in Lisbon, Portugal. *Forensic Science International*, **232**: 73-83.

- Prado e Castro C., García M. D., Palma C. & Martínez-Ibáñez M. D. (2014).** First report on sarcosaprophagous Formicidae from Portugal (Insecta: Hymenoptera). *Annales de la Société entomologique de France (N.S.)*, **50**: 51-58.
- Raj A. B. M. (1996).** Aversive reactions of turkeys to argon, carbon dioxide and a mixture of carbon dioxide and argon. *The Veterinary Record*, **138** (24): 592-593.
- Raj A. B. M. & Gregory N. G. (1995).** Welfare implications of the gaz stunning of pigs 1. Determination of aversion to the initial inhalation of carbon dioxide or argon. *Animal Welfare*, **4** (4): 273-280.
- Raj M. (2008).** Humane killing nonhuman animals for disease control purposes. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, **11**: 112-124.
- Ramón G., Barragán A. & Donoso D. A. (2013).** Can clay banks increase the local ant species richness of a montane forest? *Métodos en Ecología y Sistemática*, **8** (2): 37-53.
- Ramón G. & Donoso D. A. (2015).** The role of ants (hymenoptera: formicidae) in forensic entomology. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, **36**: 19-26.
- Reigada C., Gao J. Z., Galindo L. A. & Godoy W. A. (2011).** Survival of submerged blowfly species and their parasitoids: implications for postmortem submersion interval. *Forensic Science International*, **212** (1-3): 126–129.
- Rice M. B. S., Baird C. B. L., Strikeleather L. P. E., Morrow W. E. M. & Meyer R. E. (2014).** Carbon dioxide system for on-farm euthanasia of pigs in small groups. *Journal of Swine Health and Production*, **22** (5) : 248-254.
- Rietveld G. (2003a).** *Euthanasie à la ferme des moutons et des chèvres*, Ontario, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales (http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/animalcare/facts/info_euthanasia_shgt.htm).
- Rietveld G. (2003b).** *Euthanasie à la ferme des bovins et des veaux*, Ontario, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales (http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/animalcare/facts/info_euthanasia_cc.htm).
- Ryder Wilkie K., Mertl A. & Traniello J. (2010).** Species diversity and distribution patterns of the ants of Amazonian Ecuador. *PLOS ONE*, **5** (10): 1-12.
- Sánchez, A. & Fagua, G. (2014).** Análisis sucesional de Calliphoridae (Diptera) en cerdo doméstico en pastizales (Cogua, Cundinamarca, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*, **40**: 190-197.

- Schoenly K. G., Haskell N. H., Hall R. D. & Gbur J. R. (2007).** Comparative performance and complementarity of four sampling methods and Arthropod preference tests from human and porcine remains at the forensic anthropology center in Knoxville, Tennessee. *Journal of Medical Entomology*, **44** (5): 881-894.
- Schotsmans E. M., Denton J., Dekeirsschieter J., Ivaneanu T., Leentjes S., Janaway R. C. & Wilson A. S. (2012).** Effects of hydrated lime and quicklime on the decay of buried human remains using pig cadavers as human body analogues. *Forensic Science International*, **3**: 50-59.
- Schroeder H., Klotzbach H., Oesterhelweg L. & Puschel K. (2002).** Larder beetles (Coleoptera, Dermestidae) as an accelerating factor for decomposition of a human corpse. *Forensic Science International*. **127**: 231-236.
- 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.
- Shean B. S., Messinger B. A., & Papworth M. (1993).** Observations of differential decomposition on sun exposed vs. shaded pig carrion in Coastal Washington State. *Journal of Forensic Sciences*, **38** (4): 938-949.
- Silveira O. T., Esposito M. C., Santos Jr J. N., & Gemaque Jr F. E. (2005).** Social wasps and bees captured in carrion traps in a rainforest in Brazil. *Entomological Science*, **8**: 33-39.
- Simonin C. (1967).** *Médecine légale judiciaire*. Troisième tirage, Librairie Maloine, Paris, 1054p.
- Singh D. & Bharti M. (2001).** Further observations on the nocturnal oviposition behaviour of blowflies (Diptera: Calliphoridae). *Forensic Science International*, **120**: 124-126.
- Singh D. & Bharti M. (2008).** Some notes on the nocturnal larviposition by two species of Sarcophaga (Diptera: Sarcophagidae). *Forensic Science International*. **177**: 19-20.
- Slone D. & Gruner S. (2007).** Thermoregulation in larval aggregations of carrion-feeding blow flies (Diptera: Calliphoridae). *Journal Medical Entomology*. **44**: 516-523.
- Smith K. G. V (1986).** *A manual of Forensic entomology*. British Museum Natural History, London, 205p.
- Smith K. E. & Wall R. (1997).** The use of carrion as breeding sites by the blow fly *Lucilia sericata* and other Calliphoridae. *Medical and Veterinary Entomology*, **11**: 38-44.

- Smith R. J. & Heese B. (1995).** Carcass selection in a high altitude population of the burying beetle *Nicrophorus investigator* (Silphidae). *Southwestern Naturalist*, 40 (1): 50-55
- Sonker R., Rawat S. & Singh K. (2018).** Factors affecting the arthropod succession on a dead animal. *International Journal of Scientific and Innovative Research*, 6 (1): 11-22.
- Sonker R. & Singh K. (2017).** Investigations on ecological succession of arthropod communities over a dead animal with forensic purview. University of Lucknow, Lucknow. India, 1-321.
- Straus E. (2000) (2^{ième} éd.).** *Du sens des sens : contribution à l'étude des fondements de la psychologie.* Grenoble, J. Million, 478p.
- Suchel J. B. (1987).** *Les climats du Cameroun.* Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Université. St. Etienne 1, 185p.
- Swann L. M., Forbes S. L. & Lewis S. W. (2010).** Analytical separations of mammalian decomposition products for forensic science: a review. *Analytica Chimica Acta*, 682: 9-22.
- Swift B. (2006).** The Timing of Death. In: Rutty G.N. (Ed.). *Essentials of Autopsy Practice.* Springer. London, England, 189- 214p.
- Szpila K. (2009).** Key for identification of European and Mediterranean blowflies (Diptera, Calliphoridae) of forensic importance Adult flies. <http://www.eafe.org/>. 18p.
- Szpila K. (2014).** Key for identification of European and Mediteranean blowflies (Diptera, Calliphoridae) of forensic importance Adult flies. *Nicolaus Copernic University Institute of Ecology and Environmental Protection Departement of Animal Ecology*, 18p.
- 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.
- Tantawi T. I., El-Kady E. M., Greenberg B. & El-Ghaffar H. A. (1996).** Arthropod succession on exposed rabbit carrion in Alexandria, Egypt. *Journal of Medical Entomology*, 33: 566-580
- Taylor B. 2010.** *The Ants of (sub-Sahara) Africa.* 10th Edn. Online at: <http://antbase.org/ants/africa>
- Teo C. H., Noor H. H., Hing H. L. & Sri Pawita A. A. H. (2014).** Decomposition Process and Post Mortem Changes: Review. *Sains Malaysiana*. 43 (12): 1873-1882.

- Tibbett M., Carter D. O., Haslam T., Major R. & Haslam R. (2004).** A laboratory incubation method for determining the rate of microbiological degradation of skeletal muscle tissue in soil. *Journal of Forensic Sciences*, **49** (3): 560-5.
- Tomberlin J. K., Mohr R., Benbow M. E., Tarone A. M. & VanLaerhoven S. (2011).** A road map for bridging basic and applied research in forensic entomology. *Annual Review of Entomology*, **56**: 401-421.
- Turner B. D. (2005).** Blowfly maggots: the good, the bad and the ugly. *Comparative Clinical Pathology*, **14**: 81-85.
- Turner B. D. & Howard T. (1992).** Metabolic heat generation in dipteran larval aggregations: a consideration for forensic entomology. *Medical and Veterinary Entomology*, **6** (2): 179-181.
- Turner B. & Wiltshire P. (1999).** Experimental validation of forensic evidence; a study of the decomposition of buried pig in heavy clay soil. *Forensic Science International*, **101**: 113-122.
- Vairo K. P., Rodrigo C. C., Melise C., Lechet A., Maria Caneparo F., Kleber M., Mise, Daniel Preti, Claudio J. B. de Carvalho, Lucia M. A & Mauricio Moura O. 2015.** Forensic Use of A Subtropical Blowfly : The First Case Indicating Minimum Postmortem Interval (mPMI) in Southern Brazil and First Record of *Sarconesia Chlorogaster* from a Human Corpse. *Journal of Forensic Sciences*, **60**: 257-260. Doi: 10.1111/1556-4029.12596
- Valdes-Perezgasga M., Sanchez-Ramos F. J, Garcia-Martinez O. & Anderson G. S. (2010).** Arthropods of forensic importance on pig carrion in the Coahuilan semidesert, Mexico. *Journal of Forensic Sciences*, **55** (4): 1098-1101.
- Vanhove B. (2002).** *Utilisation du porc comme donneur d'organes et de tissus pour l'homme, la recherche médicale à l'aube du XXIe siècle.* Recherche médicale et modèle animal. Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS, p41-46.
- VanLaerhoven S. L. & Anderson G. S. (1999).** Insect succession on buried carrion in two biogeoclimatic zones of British Columbia. *Journal of Forensic Sciences*, **44**: 31-44.
- Varatharajan R. & Sen A. (2000).** Role of entomology in forensic sciences. *Current science*, **78** (5): 544-546.
- Vass A. A. (2001).** Beyond the grave-understanding human decomposition. *Microbiology Today*, **28**: 1-3.

- Velasquez Y. & Vilorio A.L. (2009).** Effect of temperature on the development of the neotropical carrion beetle *Oxelytrum discicolle* (Brullé, 1840) (Coleoptera: Silphidae), *Forensic Science International*, **185** (1-3): 107-9.
- Verheggen F., Perrault K., Megido R., Dubois L., Francis F., Haubruge E., Forbes S. L., Focant J.-F. & Stefanuto P.-H. (2017).** The odor of death: An overview of current knowledge on characterization and applications. *Bioscience*, **67**: 600-613, doi:10.1093/biosci/bix046.
- Villet M. H. (2011).** African carrion ecosystems and their insect communities in relation to forensic entomology. *Pest technology*, **5** (1): 1-15.
- Von Zuben C. J., Bassanezi R. C. & Von Zuben F. J. (1998).** Theoretical approaches to forensic entomology: II. Mathematical model of larval development. *Journal of Applied Entomology*, **122**: 275-278.
- Voss S. C., Spafford H. & Dadour I. R. (2009).** Annual and seasonal patterns of insect succession on decomposing remains at two locations in Western Australia. *Forensic Science International*, **193**: 26–36.
- Wachkoo A. A & Bharti H. 2015.** Taxonomic review of ant genus *Nylanderia* Emery, 1906 (Hymenoptera: Formicidae) in India. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, **8** (2): 105–120.
- Wall R. & Warnes M. L. (1994).** Responses of the sheep blowfly *Lucilia sericata* to carrion odour and carbon dioxide. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **3**: 239-246.
- 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.
- Wardle D. A., Hyodo F., Bardgett R. D., Yeates G. W. & Nilsson M.-C. (2011).** Long-term aboveground and belowground consequences of red wood ant exclusion in boreal forest. *Ecology*, **92**: 645-656.
- Watson E. J. & Carlton C. E. (2005).** Insect succession and decomposition of wildlife carcasses during fall and winter in Louisiana. *Journal of Medical Entomology*, **42**: 193-203.
- Wells J. D. & Greenberg B. (1994).** Effect of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae) and carcass type on the daily occurrence of post feeding carrion-fly larvae (Diptera: Calliphoridae, Sarcophagidae). *Journal of Medical Entomology*, **31**: 171-174.

- Wells J. D. & Kurahashi H. (1994).** *Chrysomya megacephala* (Fabricius) (Diptera: Calliphoridae) development: Rate, variation and implications for forensic entomology. *Japanese Journal of Sanitary Zoology*, **45** (4): 303-309.
- Wells J. D. & LaMotte L. R. (1995).** Estimating maggot age from weight using inverse prediction. *Journal of Forensic Sciences*, **40**: 585-590.
- Whiting T. L. & Marion C. R. (2011).** Perpetration induced traumatic stress – A risk for veterinarians involved in the destruction of healthy animals. *Canadian Veterinarian Journal*, **53**: 794-796.
- Wilson E. O. (2005).** Oribatid mite predation by small ants of the genus *Pheidole*. *Insectes Sociaux*, **52**: 263-265.
- Wooldridge J., Scrase L. & Wall R. (2007).** Flight activity of the blowflies, *Calliphora vomitoria* and *Lucilia sericata*, in the dark. *Forensic Science International*. **172**: 94-97.
- Wyss C. & Cherix D. (2006).** *Traité d'entomologie forensique. Les insectes sur la scène de crime*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne: 317p
- Xiaoying G., Danny H., René K., Sofie V., Hans-Georg W. & Gerhard W. (2014).** Carcass ecology- more than just beetles. *Entomologische Berichten*. **74** (1-2): 68-78.
- Xing L., Parkinson A. H., Ran H., Pirrone C. A., Roberts E. M., Zhang J., Burns M. E., Wang T. & Choiniere J. 2016.** The earliest fossil evidence of bone boring by terrestrial invertebrates: Examples from China and South Africa. *Historical Biology*, **28** (8):1108-1117.
- Zanetti N. I., Visciarelli E. C. & Centeno N. D. 2014.** Taphonomic marks on pig tissue due to cadaveric Coleoptera activity under controlled conditions. *Journal of Forensic Sciences*, **59** (4): 997-1001.
- Zuttion M., Wenceslau C., Lemos P., Takimura C. & Kerkis I. (2013).** Adipose tissue-derived stem cells and the importance of animal model standardization for pre-clinical trials. *Elsevier editor*, **2** (3): 281-287.

ANNEXE 1: article publié en relation avec la thèse

Yebga L. B. C., Mony R., Makon S. D., Mbenoun Masse P. S. & Bilong Bilong C. F. (2020). Diplopods succession associated to covered *Sus scrofa domesticus* (Linnaeus, 1758) carrions exposed in various habitats in the equatorial forest of malombo (Center Region of Cameroon, Africa): first studies. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, **22** (2): 329-339.