UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS–RIVIÈRES

ÉTUDE DES COMMUNAUTÉS DE DIPTÈRES D'INTÉRÊT FORENSIQUE SUR CADAVRES PORCINS ET HUMAINS AU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ COMME

EXIGENCE PARTIELLE DE LA

MAITRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR

SOPHIE MOREL

DÉCEMBRE 2024

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

REMERCIEMENTS

Ce projet n'aurait pas pu être possible sans l'aide et le support de nombreuses personnes. Premièrement j'aimerais remercier ma directrice de projet, Shari Forbes, qui m'a permis de réaliser ce projet a été d'une grande aide, surtout pour mes questions à propos de la décomposition. J'aimerais également remercier ma codirectrice, Julie-Éléonore Maisonhaute qui m'a tout appris sur la partie entomologie forensique de ce projet. Sans leur aide, leur disponibilité et leur patience, ce projet n'aurait pas pu voir le jour. Ensuite, j'aimerais remercier les membres de mon comité, Raphaël Proulx et Gaétan Moreau qui ont su m'apporter des commentaires constructifs et pertinents lors de la présentation de mon projet et de mes résultats.

Évidemment, j'aimerais remercier tous mes amis et collègues du groupe de recherche de REST[ES], Agathe Ribéreau-Gayon, Frédérique Ouimet, Rushali Dargan, Darshil Patel et Gabrielle Harvey qui m'ont apporté une aide précieuse tout au long de ce projet. J'aimerais particulièrement remercier Pierre-Louis Arcand et Marc-Antoine Perreault pour leur aide dans la collecte d'échantillons quotidienne. J'aimerais aussi remercier Gabrielle Bélanger qui a su prendre soin des élevages au laboratoire et me donner un peu de répit.

J'aimerais aussi remercier la Chaire de recherche Canada 150 Pour le soutien financier obtenu lors pour ce projet

Je tiens à remercier les trois donneurs ainsi que leur famille qui ont accepté de donner leur corps généreusement au laboratoire d'anatomie de L'UQTR. Sans ce don, ce projet n'aurait pas pu être réalisé.

Finalement, j'aimerais remercier ma famille et mes amis qui m'ont soutenu tout au long de ce projet. Bien qu'il y ait eu quelques moments de découragement, ils ont toujours été présents pour moi avec leurs mots d'encouragement et leur petites « poussées dans le derrières ». Merci d'avoir également su me distraire dans les moments où c'était

nécessaire. Finalement, petite mention spéciale à mon chat Gregory pour avoir été une belle source de réconfort et à mes côtés (littéralement) pour une grande partie de la rédaction de mon mémoire.

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Cycle de développement ou métamorphose complète des diptères Calliphoridae. L'adulte (ou imago) pond ses œufs sur le corps. Les larves qui en résultent subiront trois stades de développement avant de se transformer en pupe dans son puparium d'où émergera le nouvel adulte (Aubernon et al. 2017)..... 7

Figure 2-1 Schéma de la disposition des donneurs humains et des carcasses de cochon, ainsi que leur date d'arrivée sur le site de REST[ES]..... 21

Figure 2-2 Stades de décomposition atteints par les carcasses de cochon lors de cette étude. A : stade frais, B : stade de décomposition active, C : stade de décomposition avancée, D : stade de restes secs. 26

Figure 3-1 Température moyenne quotidienne, minimale, maximale et total des précipitations quotidiennes enregistrés sur le site REST[ES] entre le 9 juin et le 18 octobre 2021. 30

Figure 3-2 Températures internes obtenues à l'aide de sondes au niveau de la tête et du rectum des donneurs humains et des carcasses de cochon. 32

Figure 3-3 Durée en degrés-jours cumulés des différents stades de décomposition pour chaque donneur humain et carcasse de cochon étudiés sur le site de REST[ES]. Les stades de décomposition ont été déterminés à l'aide de la grille élaborée par Megyesi et al. (2005) pour les donneurs humains et à l'aide de la grille de Keough et al. (2017) pour les carcasses de cochon..... 36

Figure 3-4 Durée moyenne, en degrés-jours cumulés des différents stades de décomposition pour les différentes parties du corps (tête, abdomen et membres) pour l'ensemble des donneurs humains et des carcasses de cochon, étudiés sur le site de REST[ES]. Les stades de décomposition ont été déterminés à l'aide de la grille élaborée par Megyesi et al. (2005) pour les donneurs humains et à l'aide de la grille de Keough et al. (2017) pour les carcasses de cochon..... 37

Figure 3-5 Total des familles, espèces ou genres de diptères retrouvés sur les donneurs humains et les carcasses de cochon échantillonnés sur le site de REST[ES], selon le stade de décomposition et la diversité totale. (Orange = donneurs humains, bleu= carcasses de cochon). Uniquement le donneur 8 est représenté pour les stades avancé et sec. Le stade de momification représente les donneurs 7 et 9. 39

Figure 3-6 Moyenne de l'abondance totale de différentes familles de diptères observées sur les donneurs humains et les carcasses de cochon échantillonnés sur le site de REST[ES] ainsi que l'erreur type. Les valeurs de p significatives sont indiquées à l'aide d'un astérisque (Calliphoridae : p=0,110, Muscidae: p=0,143, Hydrotaea: p=0,001, Piophilidae : p= 0,054, Sepsidae: p=0,001) ... 45

Figure 3-7 Abondance de quelques familles de diptères observées sur les donneurs humains en fonction des degrés-jours cumulés 46

Figure 3-8 Abondance de quelques familles de diptères observées sur les carcasses de cochon en fonction des degrés-jours cumulés 46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 Durée de développement (heures) de Lucilia illustris pour neuf températures constantes (moyenne ± écart type). La durée de développement est présentée pour les différents stades de développement du diptère, soit œuf (egg), L1 (1st instar), L2 (2nd instar), L3 (3rd instar), migrante (wandering), pupe (pupa) et la durée totale du cycle de développement (total duration) (Wang et al. 2016) 8

Tableau 2-1 Informations recueillies sur les trois donneurs humains de cette étude. Il s'agit de données démographiques (sexe et âge), physiques (poids, taille et Indice de masse corporelle (IMC)), de la date et l'heure du décès ainsi que de l'arrivée sur le site de REST[ES] et des informations sur l'historique médical et la cause du décès. 22

Tableau 3-1 Présence des familles et espèces de diptères retrouvés sur les donneurs humains et les carcasses de cochon échantillonnés sur le site de REST[ES], selon le stade de décomposition, les moyennes degrés-jours cumulés moyens (°C) et le stade de développement des diptères (i= immature, a = adulte) (orange = donneurs humains, bleu= carcasses de cochon). Uniquement le donneur 8 est représenté pour les stades avancé et sec. Le stade de momification représente les donneurs 7 et 9. 43

Tableau 3-2 Valeurs obtenues lors du test de Kruskal-Wallis, afin de comparer l'abondance de quatre familles de diptère (Calliphoridae, Muscidae (dont le genre Hydrotaea), Piophilidae et Sepsidae) entre les donneurs humains et les carcasses de cochon. Les valeurs affichées sont la valeur de la statistique du test, la valeur du degré de liberté (df) et la valeur de p. 44

Résumé

Pour étudier la décomposition d'un corps, des carcasses de cochon sont souvent utilisées en remplacement de cadavres humains, du fait de leurs similitudes à plusieurs niveaux ainsi que de leur facilité d'accès. Cependant, peu d'études ont cherché à savoir s'il s'agit vraiment d'une bonne alternative en entomologie forensique. Cette étude a donc pour but de déterminer si les carcasses de cochon et les cadavres humains sont comparables au niveau de la colonisation par les insectes, en mettant l'accent sur les populations de diptères d'intérêt forensique et si ces deux types de cadavres sont comparables au niveau des stades de décomposition. Il s'agit du premier projet de la sorte effectué au Canada. Afin de réaliser ce projet, trois carcasses de cochon et trois cadavres humains ont été placés sur le site de Recherche En Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales], REST[ES], à Bécancour, durant l'été 2021. Des observations et des prises d'échantillons du matériel entomologique ont été réalisées périodiquement jusqu'en octobre 2021. Les œufs et les larves de diptère récoltés sur le site étaient rapportés au laboratoire d'entomologie forensique de l'Université du Québec à Trois-Rivières, pour être placés en élevage jusqu'à l'âge adulte et ainsi permettre l'identification. À la fin de ce projet, 34 familles et espèces de diptère ont été recensés sur au moins un des types de cadavres, huit sur uniquement les carcasses de cochon et une seule uniquement sur les donneurs humains. Les espèces les plus communes sur les deux types de cadavre étaient *Phomia regina, Lucilia illustris* (Calliphoridae) et *Stearibia nigriceps* (Piophilidae). En général, l'abondance et la diversité ont été plus importantes sur les carcasses de cochon que sur les donneurs humains. Nos résultats démontrent que bien que le processus de décomposition ait été différent entre les deux types de cadavre, les carcasses de cochon constituent un substitut adéquat à l'utilisation de donneurs humains pour l'étude de l'entomologie forensique. En effet, les mêmes espèces de diptère étaient, en majeure partie, communes aux deux types de cadavres et présentes en majeure partie durant les mêmes stades de décomposition. Cette étude fournit des données pertinentes pour les

prochains projets sur l'entomologie forensique qui seront réalisés au Québec et, plus largement, au Canada.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS II

LISTE DES FIGURES IV

LISTE DES TABLEAUX VI

TABLE DES MATIÈRES IX

1 INTRODUCTION 1

1.1 Décomposition 1
1.1.1 Processus de décomposition 1
1.1.2 Facteurs influençant la décomposition 2

1.2 Arthropodes nécrophages 4
1.2.1 Diptères d'intérêt forensique 4
1.2.2 Cycle de développement des diptères 6
1.2.3 Coléoptères d'intérêt forensique 8

1.3 Entomologie forensique 10
1.3.1 Définition et historique 10
1.3.2 Intervalle post-mortem 11
1.3.3 Autres utilisations de l'entomologie forensique 14

1.4 Modèle porcin versus humain 15

1.5 Études réalisées au Canada 16

1.6 Objectifs et hypothèses 18

2 MÉTHODOLOGIE 20

2.1 Site d'étude 20

2.2 Donneurs humains et carcasses de cochon 21
2.2.1 Les donneurs humains 21
2.2.2 Carcasses de cochon 23

2.3 Préparation des corps 23

2.4 Observation et échantillonnage 24

2.5 Élevage des échantillons en laboratoire **27**

2.6 Analyse des données **28**

3 RÉSULTATS 29

3.1 Conditions environnementales **29**

3.2 Décomposition **32**

3.3 Diptères **38**

3.3.1 Diversité globale des diptères collectés 38

3.3.2 Succession des diptères 40

3.3.3 Abondance 44

4 DISCUSSION 47

4.1 Décomposition des donneurs humains **47**

4.1.1 Variation interindividuelle 51

4.2 Décomposition des carcasses de cochon **51**

4.3 Comparaison de la décomposition **52**

4.4 Diptères retrouvés sur les cadavres **56**

4.4.1 Général 56

4.4.2 Diptères retrouvés uniquement sur les donneurs humains 62

4.4.3 Diptères retrouvés uniquement sur les carcasses de cochon 63

4.4.4 Absence de diptères 66

4.5 Succession des diptères **67**

4.6 Abondance **69**

4.7 Facteurs affectants la présence des diptères **70**

4.8 Facteurs entomologiques affectant la décomposition **71**

5 CONCLUSION 73

5.1 Retour sur les objectifs et sur les résultats **73**

5.2 Limitations **74**

5.3 Perspectives **75**

RÉFÉRENCES 78

ANNEXE A 87

1 INTRODUCTION

1.1 DÉCOMPOSITION

1.1.1 PROCESSUS DE DÉCOMPOSITION

Immédiatement après le décès, deux processus s'enclenchent, l'autolyse, qui est la destruction des cellules par l'activité enzymatique, et la putréfaction qui est la décomposition des tissus sous l'effet de l'activité bactérienne (Gelderman et al. 2019). La décomposition d'un corps est souvent classifiée selon cinq stades de décomposition différents soit : le stade frais, le stade gonflé, la décomposition active, la décomposition avancée et les restes secs (Knobel et al. 2019 ; Payne, 1965). Il est important de bien comprendre le processus de décomposition, puisque celui-ci est largement étudié pour arriver à déterminer le moment du décès.

Le stade frais se produit directement après la mort et se poursuit jusqu'au stade gonflé. Lors de ce premier stade de décomposition, la rigidité cadavérique ou rigor mortis, la lividité cadavérique ou livor mortis (l'accumulation du sang vers la partie du corps la plus basse) (Ehrenfellner et al. 2017) et l'algor mortis (changement de température du corps) (Ehrenfellner et al. 2017) peuvent être observés (Gelderman et al. 2019). Mis à part les éléments mentionnés précédemment, peu de changements physiques sont observés alors que le cadavre se trouve au stade frais (Minchilli, 2020). Ce stade a une durée d'environ un ou deux jours (Maisonhaute et Forbes, 2020 ; Sharanowski et al. 2008 ; Campobasso et al. 2001 ; Tabor et al 2004), mais la durée peut varier selon plusieurs facteurs (voir paragraphe suivant). Les premiers diptères sont généralement vu lors de ce stade, dans les minutes ou les heures suivant la mort. Les diptères débutent alors la colonisation en y pondant leurs œufs (Charabidze, 2012 ; Anderson, 2011 ; Maisonhaute et Forbes, 2020 ; Sharanowski et al. 2008). Le stade gonflé correspond au gonflement du

corps, surtout au niveau de l'abdomen, dû à l'accumulation de gaz créée par l'action des bactéries (Gill-King, 1997). C'est également au cours de cette étape que la coloration de la peau commence à changer et où des marbrures de couleur bleu/vert commencent à apparaitre (Sharanowski et al. 2008). Lors de ce stade, les larves de diptère se développent et se nourrissent du cadavre. Le stade gonflé prend fin lorsque la peau se rupture et laisse s'écouler les gaz et les liquides de décomposition sous l'action des larves de diptère. Le corps dégonfle alors et une forte odeur de décomposition est perceptible. La peau se nécrose et noircie et commence à se détacher des os et les tissus se liquéfient (Sharanowski et al. 2008). Il s'agit alors du stade de décomposition active. Lors de ce stade, les larves de diptères peuvent débuter leur migration pour la pupaison (Sharanowski et al 2008 ; Maisonhaute et Forbes, 2020) Le stade de décomposition avancée se caractérise par la diminution et le changement de l'odeur, l'apparition marquée des os aux extrémités, la déshydratation des tissus restants et une diminution de l'activité entomologique (Sharanowski et al. 2008). À ce stade, les larves de diptère continuent et concluent leur migration pour la pupaison (Anderson, 2011 ; Maisonhaute et Forbes, 2023) Finalement, le stade de restes secs survient lorsqu'il ne reste que les os, les cartilages et de la peau séchée (Minchilli, 2020). La durée des stades mentionnée ci-haut varie cependant selon l'environnement où le corps se trouve.

1.1.2 Facteurs influençant la décomposition

La décomposition d'un corps, qui est un processus très variable, va grandement être influencée par différents facteurs, qui peuvent accélérer ou ralentir le processus. Ces facteurs peuvent être d'origine endogène ou exogène (peuvent également être décrits comme intrinsèques et extrinsèques). Les facteurs endogènes comprennent, entre autres, la prise de médication ou de drogue, la masse corporelle, une blessure présente avant la mort, une maladie, etc., tandis que les facteurs exogènes ont davantage rapport à l'environnement autour du cadavre. Ces facteurs sont le climat, la température,

l'humidité ambiante et du sol, la présence d'une source de chaleur (chauffage fonctionnant dans la pièce), la présence d'insectes et d'animaux charognards, l'altitude, l'exposition au soleil etc. (Zhou et Byard, 2011 ; Ribereau-Gayon et al. 2023 ; Gelderman et al. 2019 ; Campobasso et al. 2001). Le vent peut aussi venir affecter un corps en l'asséchant, ce qui peut favoriser la momification (Lynch-Aird et al. 2015 ; Campobasso et al. 2001). L'humidité joue aussi un rôle dans la manière dont le corps se décompose. Par exemple, dans un environnement sec, un corps se momifie tandis que dans un environnement avec un haut taux d'humidité relative dans l'air, les tissus sont humidifiés, ce qui ralentit la décomposition (Campobasso et al. 2001).

La température ambiante est cependant, un des facteurs environnementaux ayant une action des plus importantes sur le processus de décomposition. En effet, une température plus élevée va accélérer l'autolyse et la putréfaction (Zhou et Byard, 2011), tandis que les températures fraiches vont ralentir la décomposition (Cockle et Bell, 2017). Par exemple, il a été montré qu'une faible température peut accélérer et prolonger le phénomène de rigor mortis (Gill-King, 1997). Les très faibles ou les très fortes températures peuvent aussi ralentir la décomposition d'un corps, en inhibant le développement des bactéries et en préservant les tissus (Campobasso et al, 2001). La température joue également un grand rôle sur l'arrivée, le développement et la présence des diptères nécrophages, plus celle-ci est élevée, plus le développement est rapide (Charabidze, 2012) et plus la présence de ces insectes est importante (Campobasso et al. 2001). Par conséquence, la décomposition sera donc accélérée, tandis que les températures basses peuvent retarder l'arrivée des insectes nécrophages, qui ont un grand impact sur la décomposition (Charabidze, 2008) et donc ralentir le processus de décomposition. Un des moyens de connaître l'impact de la température sur la décomposition est grâce à l'utilisation des degrés-jours cumulés. Cette méthode a pour but de déterminer l'intervalle post mortem à l'aide des degrés-jour cumulés et du stade de développement des diptères. Ceci sera présenté davantage dans les sections subséquentes.

1.2 ARTHROPODES NÉCROPHAGES

1.2.1 DIPTÈRES D'INTÉRÊT FORENSIQUE

Les principaux arthropodes associés à la décomposition font partie de l'ordre des diptères et des coléoptères. Les insectes nécrophages interviennent dans la décomposition du cadavre en recyclant et en dégradant les matières organiques (Minchilli, 2020). Ils jouent un rôle important dans la vitesse de décomposition. En effet, un corps privé de l'action des insectes prend plus de temps à se décomposer (Pechal et al. 2014 ; Thümmel et al. 2023). Les diptères les plus souvent étudiés lors de la détermination de l'intervalle post-mortem (IPM, ou temps écoulé depuis la mort, VanLaerhoven, 2008) sont ceux de la famille des Calliphoridae. Ces mouches sont parmi les premiers arthropodes à coloniser les cadavres (Anderson et VanLaerhoven, 1996 ; Payne, 1965 ; Amendt et al. 2011 ; Byrd et Castner, 2001), leur sens olfactif très bien développé leur permettant de détecter l'odeur de décomposition sur une grande distance (Charabize, 2012). Comme cette famille est reconnue pour arriver très rapidement après la mort, parfois quelques minutes seulement après celle-ci, elle a un grand intérêt en entomologie forensique, notamment dans la détermination de l'intervalle post-mortem (Cherix et al. 2012). Les diptères Calliphoridae sont des mouches souvent reconnues grâce à leur couleur vert ou bleu possédant, la plupart du temps un abdomen et/ou un thorax métallique (Byrd et Castner, 2001 ; Jones et al. 2019). Puisque leurs larves sont nécrophages, saprophages ou coprophages, on les observe souvent près de matières animales ou végétales en décomposition (Wyss et Cherix, 2013), tel qu'un cadavre ou des excréments (Byrd et Castner, 2001). Au Québec, plusieurs espèces de cette famille ont été observées sur des carcasses de cochon et des donneurs humains. Ces espèces sont entre autres, *Calliphora* livida (Hall, 1948)*, Calliphora vomitoria* (Linnaeus, 1758)*, Phormia regina* (Meigen, 1826)*, Protophormia terraenovae* (Robineau-Desvoidy, 1830), *Cynomya cadaverina* (Robineau-Desvoidy 1830) et *Lucilia illustris* (Meigen, 1826) (Maisonhaute et Forbes, 2020 ; Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Arcand, 2023).

La famille des Piophilidae est une autre famille des plus citées lorsqu'il est question de décomposition. Cette famille est répandue dans le monde entier (Martin-Vega, 2011). Les Piophilidae sont associés à différents environnements, tel que les excréments, la matière organique en décomposition, les cadavres, etc. (Maisonhaute et Forbes, 2021). Cette famille est associée principalement avec le stade de décomposition avancée, et c'est durant ce stade que les larves de Piophilidae sont très présentes (Martin-Vega, 2011). Les adultes peuvent être vus sur les cadavres dès les premières journées de décomposition (Tabor et al. 2004 ; Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Anderson et VanLaerhoven, 1996). Par exemple, dans l'article de Maisonhaute et Forbes (2020), des adultes de la famille des Piophilidae ont été aperçus tout au long de l'étude. Cependant, la présence des adultes ne signifie pas qu'il y a eu oviposition, (Turchetto et al. 2001). En effet, cette famille tend à pondre sur les cadavres se trouvant au stade de décomposition avancée ou de restes secs (Maisonhaute et Forbes, 2020 et 2023 ; Martin-Vega, 2011 ; Mcalpine, 1977). Les larves des Piophilidae sont reconnaissables à leur capacité à sauter (Charabidze, 2012 ; Mcalpine, 1977).

Les diptères de la famille des Muscidae sont d'autres diptères d'intérêt forensique, couramment rencontrés sur les cadavres en décomposition. Cette famille vit souvent en association avec les humains. On les retrouve dans divers environnements, puisque les adultes se nourrissent de différentes sources de nourriture, comme des plantes et des animaux en décomposition, des déchets, du pollen, des excréments, etc. (Byrd et Castner, 2001). Les larves de cette famille se nourrissent directement sur le cadavre, mais certaines espèces sont connues pour prédater les œufs et les larves des autres espèces de diptère, présents sur le cadavre (Wyss et Cherix, 2013 ; Byrd et Castner, 2001). Selon Mégnin (1894), cette famille, principalement le genre *Musca*, ferait partie de la première escouade des travailleurs de la mort en association avec les diptères du genre Calliphora. Byrd et Castner (2001) indiquent cependant que cette famille arriverait sur les cadavres après la famille des Calliphoridae et celle des Sarcophagidae. Lors d'études menées au Québec, les adultes de cette famille ont été observés pratiquement en permanence (Maisonhaute et Forbes, 2020 ; Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Arcand, 2023).

Les diptères de la famille des Sarcophagidae sont des mouches très souvent associées à la décomposition. Les adultes se nourrissent principalement de nectar tandis que les larves se nourrissent de matières en décomposition tel qu'un cadavre ou des excréments (Byrd et Castner, 2001). Les adultes ne pondent pas d'œufs, ils déposent directement des larves de stade 1 sur la matière à coloniser (Byrd et Castner, 2001). Selon Wyss et Cherix (2013), ces mouches sont reconnaissables grâce à leur motif en damier sur leur abdomen avec parfois des bandes grises ou noires sur le thorax. Ces diptères ne sont jamais métalliques, comparativement à d'autres familles comme les Calliphoridae (Byrd et Castner, 2001). Cette famille est souvent, avec les Calliphoridae, parmi les premiers arthropodes à se présenter sur un corps, peu de temps après la mort, (Tabor et al. 2004). Elles peuvent être présentes autant au début qu'en fin de décomposition (Byrd et Castner, 2001).

D'autres familles de diptère sont également associées à la décomposition, par exemple, la famille des Phoridae. Ces diptères sont connus pour être attirés principalement par la matière végétale en décomposition, mais peuvent être présents dans d'autres milieux, comme un cadavre (Wyss et Cherix, 2013 ; Byrd et Castner, 2001). Cette famille serait présente plus tard durant la décomposition et grâce à sa petite taille, coloniserait des cadavres enfouis (Boehme et al. 2010). Cette famille a été peu étudiée et est très rarement utilisée en entomologie forensique (Charabidze, 2012, Boehme et al. 2010).

1.2.2 Cycle de développement des diptères

Les diptères sont holométaboles, ce qui signifie qu'ils subissent une transformation complète au cours de leur cycle de développement (Charabidze, 2008). La femelle pond des grappes d'œufs sur une source de nourriture, comme un cadavre. Une fois les œufs éclos, ceux-ci vont devenir des larves de premier stade (L1) et se nourrir sur la source de nourriture. Les larves grandissent et muent une première fois, ce qui correspond au deuxième stade larvaire (L2), le processus est répété une deuxième fois pour donner des

larves de stade trois (L3). Les larves arrêtent de s'alimenter (pré-pupes) puis s'éloignent alors du milieu où elles ont grandi, et débutent la pupaison (métamorphose) pour devenir des nymphes (pupes). Lorsque le développement est terminé, l'adulte ou l'imago émerge finalement du puparium (Charabidze, 2008). Le cycle de développement peut être observé à la figure 1-1.

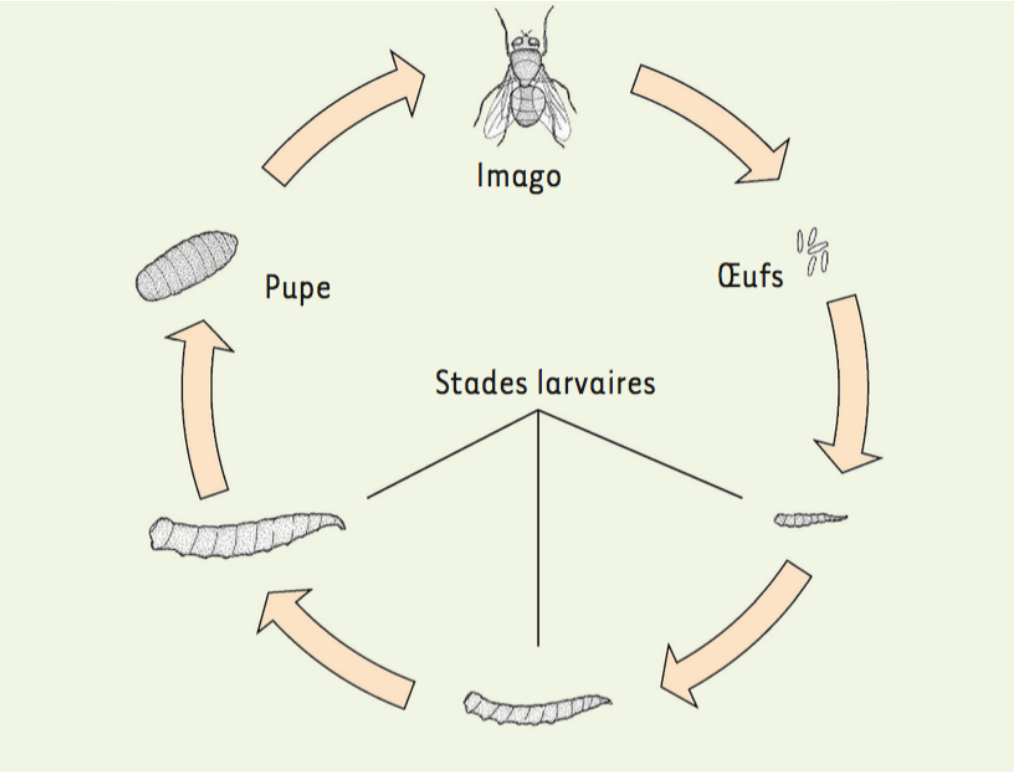


Figure 1-1 : Cycle de développement ou métamorphose complète des diptères Calliphoridae. L'adulte (ou imago) pond ses œufs sur le corps. Les larves qui en résultent subiront trois stades de développement avant de se transformer en pupe dans son puparium d'où émergera le nouvel adulte (Aubernon et al. 2017)

Les diptères sont des organismes poïkilothermes : leur température corporelle dépend en effet de celle de leur environnement. Leur cycle de développement dépend donc de la température à laquelle les diptères sont exposés : plus la température est élevée, plus il sera rapide (Anderson, 2000). La durée du cycle est également dépendante de l'espèce (Aubernon et al. 2017). Chaque espèce possède un seuil de température minimum et maximum de développement (Byrd et Castner, 2001). Par exemple, *Lucilia illustris* peut compléter son cycle de développement entre les températures de 15 °C et 32,5 °C (voir

Tableau 1) (Wang et al. 2016). Son développement est le plus rapide lorsque la température est de 32,5 °C, avec une durée totale de 234,8 ± 3,2 heures (Wang et al. 2016). Pour sa part, *Calliphora vomitoria*, qui est une espèce de diptère associée au climats plus frais, a besoin de 35 jours afin de compléter son cycle de développement sous une température constante de 26,5 °C (Haskell et al. 1997).

Tableau 1-1 Durée de développement (heures) de Lucilia illustris pour neuf températures constantes (moyenne ± écart type). La durée de développement est présentée pour les différents stades de développement du diptère, soit œuf (egg), L1 (1st instar), L2 (2nd instar), L3 (3rd instar), migrante (wandering), pupe (pupa) et la durée totale du cycle de développement (total duration) (Wang et al. 2016)

Temperature (°C)	Egg	1st instar	2nd instar	3rd instar	Wandering	Pupa	Total duration
15.0	42.8 ± 1.3^{a}	58.7 ± 2.3^{a}	55.5 ± 1.3^{a}	128.2 ± 9.1^{a}	180.8 ± 20.1^{a}	489.5 ± 8.8^{a}	955.5 ± 16.9^{a}
17.5	28.3 ± 1.6^{b}	38.0 ± 2.6^{b}	35.5 ± 4.0^{b}	86.2 ± 2.8^{b}	102.0 ± 10.4^{b}	335.7 ± 5.5^{b}	625.7 ± 16.9^{b}
20.0	22.5 ± 0.5^{c}	33.7 ± 3.2^{bc}	31.3 ± 1.2^{b}	54.7 ± 5.0^{c}	84.3 ± 7.5^{c}	282.8 ± 9.6^{c}	509.3 ± 18.3^{c}
22.5	17.5 ± 1.5^{d}	29.8 ± 3.8^{c}	22.8 ± 3.0^{c}	41.7 ± 2.5^{d}	72.0 ± 9.2^{cd}	226.2 ± 5.4^{d}	410.0 ± 17.0^{d}
25.0	14.9 ± 0.8^{e}	24.0 ± 2.0^{d}	20.3 ± 3.5^{c}	34.3 ± 2.1^{e}	60.7 ± 4.2^{de}	192.5 ± 8.5^{e}	346.7 ± 12.2^{e}
27.5	12.7 ± 0.6^{f}	19.3 ± 2.3^{e}	15.7 ± 2.1^{d}	31.3 ± 3.5^{ef}	57.2 ± 2.8^{de}	154.0 ± 3.5^{f}	290.2 ± 6.7^{f}
30.0	11.7 ± 1.1^{fg}	15.7 ± 3.5^{ef}	13.7 ± 1.5^{de}	29.5 ± 1.3^{ef}	54.0 ± 6.0^{de}	132.5 ± 2.8^{g}	257.1 ± 8.9^{g}
32.5	10.5 ± 0.5^{gh}	14.2 ± 2.0^{f}	12.3 ± 2.5^{de}	26.7 ± 3.5^{ef}	50.3 ± 3.8^{e}	118.8 ± 10.1^{h}	234.8 ± 3.2^{h}
35.0	9.2 ± 0.3^{h}	12.0 ± 1.3^{f}	10.8 ± 1.0^{e}	23.7 ± 1.5^{f}	61.3 ± 7.0^{e}	–	–

1.2.3 Coléoptères d'intérêt forensique

Plusieurs familles de l'ordre des Coléoptère sont également associées à la décomposition. Certaines espèces de coléoptère sont nécrophages tandis que d'autres sont prédatrices des autres espèces nécrophages (Campobasso et al. 2001). La famille des Silphidae est connue pour coloniser les cadavres très rapidement, en même temps que les Calliphoridae (Kalinová et al. 2009). Ces coléoptères vivent et se nourrissent sur les carcasses en décomposition ou peuvent être des prédateurs (Kalinová et al. 2009 ; Byrd et Castner, 2001). En général, les larves se nourrissent du cadavre, tandis que les adultes se nourrissent principalement des larves des diptère (Byrd et Castner, 2001). Cette famille est considérée comme bénéfique pour son écosystème, puisqu'en se nourrissant de

carcasses en décomposition, elle intervient directement dans le cycle du carbone et de l'azote (Wyss et Cherix, 2013). Certains individus comme ceux de la sous famille des Nicrophorinae sont connus pour enterrer rapidement les cadavres, lorsque la taille le permet, et utilisent ceux-ci comme lieu d'accouplement (Wyss et Cherix, 2013 ; Byrd et Castner, 2001). Les principales espèces observées au Québec sont, *Necrodes surinamensis* (Fabricius 1775), *Oiceoptoma noveboracense* (Forster, 1771), et *Nicrophorus spp*. (Maisonhaute et Forbes, 2020 ; Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Arcand, 2023).

Les coléoptères de la famille des Staphylinidae sont associés avec plusieurs environnements différents comme le fumier, les détritus, les champignons, etc. (Wyss et Cherix, 2013). Les staphylins peuvent être observés sur des cadavres car ils sont souvent prédateurs des espèces nécrophages, principalement des diptères (Wyss et Cherix, 2013 ; Byrd et Castner, 2001). Ils arrivent rapidement sur les cadavres et y restent tant qu'il y a une activité entomologique (Wyss et Cherix, 2013). En effet, les adultes de cette famille ont pu être observés tout au long de la décomposition de donneurs humains et de carcasses de cochon, au Québec (Maisonhaute et Forbes, 2020 ; Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Arcand, 2023).

Les coléoptères de la famille des Dermestidae sont associés au stade de décomposition sec. Ils peuvent arriver plusieurs mois après la mort, lorsque le corps est momifié (Wyss et Cherix, 2013 ; Byrd et Castner, 2001). Cette famille se nourrit de la peau séchée, des cheveux et poils et d'os, ce qui explique qu'elle est généralement présente lors du dernier stade de décomposition (Amendt et al. 2011).

D'autres coléoptères sont également associés avec la décomposition, car ce sont des prédateurs d'insectes nécrophages. La famille des Histeridae est en fait prédatrice de larves de diptères, ce qui explique leur présence sur les carcasses (Wyss et Cherix, 2013 ; Byrd et Castner, 2001). En plus d'être présents sur les cadavres, ces insectes se retrouvent sur les excréments, les champignons et de la matière végétale en décomposition (Byrd et Castner, 2001). Ces coléoptères peuvent être présents sur des cadavres allant du stade relativement frais jusqu'à une décomposition très avancée. La famille des Cleridae se

retrouve sur les cadavres, car elle est prédatrice d'œufs et de larves de diptères nécrophages, et peuvent donc être présente durant plusieurs stades de décomposition, mais principalement quelques semaines suivant le décès (Wyss et Cherix, 2013). Certaines espèces de cette famille, *Necrobia rufipes* (De Geer, 1775), par exemple, sont nécrophages (Zanetti et al. 2015 ; Hasan et al. 2020). Cette espèce a d'ailleurs été observée au Québec sur des donneurs humains ainsi que sur des carcasses de cochon (Maisonhaute et Forbes, 2020 et 2023). Les Scarabaeidae peuvent également être aperçus sur les cadavres, car ils se nourrissent des larves de diptères ou de tissus en décomposition (Kalinová et al. 2009).

1.3 ENTOMOLOGIE FORENSIQUE

1.3.1 DÉFINITION ET HISTORIQUE

L'entomologie forensique consiste à « étudier l'entomofaune nécrophage retrouvée sur le corps » (Charabidze, 2008) à des fins juridiques et médicales et où l'objectif premier est d'estimer l'intervalle de temps depuis la mort (Byrd et Castner, 2001). Les méthodes utilisées par la médecine légale comme les méthodes thermométriques, les stades de décomposition et les méthodes biochimiques, ne sont plus efficaces afin d'estimer la date du décès 72 h après celui-ci, période à partir de laquelle seules les méthodes entomologiques peuvent être pertinentes (Frederickx et al. 2010). Cette discipline documentée depuis de nombreuses années a permis d'élucider plusieurs affaires criminelles. La première mention de l'utilisation de l'entomologie forensique pour résoudre un meurtre remonte au XIIIe siècle en Chine (tel que décrit par Benecke, 2001). Un homme avait été retrouvé mort près d'une rizière. Le lendemain de la découverte du corps, les enquêteurs demandèrent aux paysans de leur montrer leur faucille. Attirées par le sang, des mouches se posèrent sur l'outil d'un des hommes, ce qui lui fit avouer son crime (Benecke, 2001). Le premier cas de l'utilisation de cette discipline dans le monde

moderne remonte à 1850, en France, par le docteur Bergeret (Mégnin 1894 ; Frederickx et al. 2010). Suite à la découverte du cadavre d'un nouveau-né dans la cheminée d'une maison, le Dr. Bergeret a pu déterminer le moment approximatif du décès, en observant les insectes présents sur le corps et autour de celui-ci (Mégnin, 1894 ; Frederickx et al. 2010 ; Benecke, 2001). L'entomologie forensique s'est ensuite développée davantage, avec la parution en 1894 de l'ouvrage *La faune des cadavres : Application de l'entomologie à la médecine légale* écrit par Pierre Mégnin, où il introduit les huit escouades d'insectes se succédant sur les cadavres (Frederickx et al. 2010). À partir des années 2000, de plus en plus de livres et d'articles sur le sujet ont été publiés (Frederickx et al. 2010). Cette discipline est maintenant étudiée partout dans le monde.

Les premières études entomologiques réalisées sur des corps humains se sont déroulées à l'Université du Tennessee à Knoxville (Mann et al. 1990). La faculté d'anthropologie de l'Université du Tennessee est le premier site d'étude sur la décomposition humaine, où cette discipline y est étudiée depuis 1980 (Mann et al. 1990). D'autres centres de recherche sur la thanatologie ont vu le jour depuis. Il en existe maintenant, neuf aux États-Unis, un en Australie, un autre au Pays-Bas et depuis août 2020, un au Canada, le site de Recherche En Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales] (REST[ES]), où cette étude a pris part.

1.3.2 Intervalle post-mortem

Deux façons de mesurer l'IPM à l'aide des insectes nécrophages sont souvent mentionnées dans la littérature, soit grâce à l'étude du développement des diptères, qui se base sur le calcul du nombre de degrés jours cumulés (accumulated degree days ou ADD) et grâce à la succession des espèces nécrophages (Frederickx et al. 2010).

L'IPM mesuré à l'aide du développement des diptères (méthode ADD/DJC) dépend de l'espèce présente sur le corps ainsi que de la température (Aubernon et al. 2017). Afin de déterminer l'IPM à l'aide de la technique du développement, il est essentiel de connaitre

la valeur seuil de température nécessaire pour que le diptère puisse passer du stade d'œuf jusqu'au stade adulte. Il est également nécessaire de connaître la température minimum à laquelle le développement de l'espèce de diptère concernée est possible (Charabidze, 2012) ainsi que l'historique de température sur le lieu de la découverte du cadavre. Par exemple, pour l'espèce *C. vomitoria*., la température minimum de croissance est de 3 °C (Marchenko, 2001). Cette valeur doit être soustraite à la température ambiante à laquelle le corps a été retrouvé, pour obtenir ainsi une température effective. Si l'on émet l'hypothèse d'une température constante de 22 °C, on obtient une température effective de :

$$T_{effective} = T_{ambiante} - T_{seuil} = 22\text{-}3 = 19\ °C.$$

Le seuil minimal de développement de *C. vomitoria* est de 472 degrés-jours (Marchenko, 2001), ce qui implique 472/19 = 24,8 jours pour que *C. vomitoria* complète un cycle de développement, de l'œuf à l'adulte (à température constante de 22 °C).

Il existe une grande variabilité entre les espèces de diptère au niveau de leur température de développement. Par exemple, le nombre de degrés jours nécessaire au développement de *P. regina* est de 148 et son seuil minimum est de 11,4 °C (Marchenko, 2001), tandis que pour *P. terraenovae*, le nombre de degrés jours minimum est de 251 et son seuil minimum de croissance est de 7,8 °C (Marchenko, 2001). Lorsqu'il y a des variations de température, ce qui est le cas dans un milieu non contrôlé comme par exemple, à l'extérieur, il faut additionner les températures effectives jour après jour jusqu'à atteindre le seuil de degrés jours cumulés (DJC) (Charabidze, 2012).

D'autres méthodes existent également, comme l'estimation de l'âge des larves à l'aide de leur longueur (Charabidze, 2012 selon Byrd et Allen, 2001) ou l'étude de la succession des arthropodes. Jean-Pierre Mégnin, un vétérinaire et entomologiste français introduit, en 1894 dans son ouvrage *La Faune des Cadavres : Application de l'entomologie à la médecine légale*, l'existence des huit escouades d'insectes nécrophages, chacune associée à un stade de décomposition différent (Frederickx et al. 2010). Dans cet ouvrage, il indique que « […] les travailleurs de la mort, n'arrivent à table que successivement, et

toujours dans le même ordre […] » (Mégnin, 1894, p.13-14). Cette succession d'escouades permettrait de déterminer le degré de décomposition et ainsi le temps écoulé entre la découverte du corps et la mort, selon la dernière escouade présente (Mégnin, 1894). Les insectes seraient attirés par les émissions de gaz odorants, qui leur indiqueraient à quel stade de décomposition le corps se trouve. Généralement, les diptères de la famille des Calliphoridae ainsi que les coléoptères de la famille des Silphidae sont les premiers à coloniser un cadavre. Ensuite, les coléoptères nécrophages ou prédateurs comme les Histeridae, les Staphylinidae, d'autres espèces de Silphidae et les Scarabaeidae sont présents sur les corps afin de se nourrir des larves de diptères ou de tissus en décomposition (Kalinová et al. 2009). Plus tard, les Dermestidae envahissent le corps, lorsque celui-ci est sec (Tabor et al. 2004). Cette théorie des escouades n'est cependant pas partagée par tous les scientifiques. Selon Wyss et Cherix (2006), il est facilement démontrable que les successions ne sont pas toujours respectées (Frederickx et al. 2010). Puisque la décomposition est fortement liée aux caractéristiques de l'environnement, la succession des insectes est très variable (Charabidze, 2012 selon Wells et Lamotte, 2001). Fredericks et al. (2010) écrivent « […] la succession chronologique des espèces sur un cadavre n'est pas immuable. Le taux de décomposition du corps est variable, de même que le cycle de développement de l'insecte, tous deux fortement influencés par les conditions climatiques locales. » (Frederickx et al. 2010, p.240). Pour que l'IPM puisse être déterminé à l'aide de la succession d'insectes nécrophages, il est nécessaire de connaître les arthropodes présents dans cette région, puisque la diversité varie entre les régions géographiques (Sharanowski et al. 2008). Il est donc très important d'effectuer des études au Québec, qui possède un climat froid et humide, afin de documenter la succession des espèces d'intérêt forensique.

1.3.3 Autres utilisations de l'entomologie forensique

L'entomologie forensique permet, en plus de déterminer l'IPM, de nous fournir plusieurs autres informations essentielles. Les insectes nécrophages peuvent révéler des cas de négligence et de maltraitance sur des personnes dépendantes (personnes âgées, enfants, etc.) (Frederickx et al. 2010) ou des animaux (Amendt et al. 2011). Benecke et Lessig (2001) ont démontré qu'une enfant avait subi de la négligence ante-mortem, grâce à une espèce de diptère, *Fannia canicularis* L., qui est normalement attirée par l'urine et les excréments. Les myiases, qui sont des plaies colonisées par des larves de diptère, qui apparaissent sous formes d'abcès et de furoncles sont également un bon indicateur qu'une personne est maltraitée ou subit de la négligence (Frederickx et al. 2010).

De plus, il est possible d'effectuer des analyses toxicologiques sur les arthropodes nécrophages, afin de détecter la présence de substances telles que des drogues (ex. opioïdes, cocaïne, stéroïdes), des pesticides, des insecticides, etc. (Chophi et al. 2019 ; Amendt et al. 2011). En effet, ceux-ci peuvent accumuler et stocker les substances toxiques, en se nourrissant des tissus cadavériques et ainsi être utilisés pour les analyses toxicologiques, lorsque le corps et principalement les tissus utilisés pour les examens toxicologiques sont trop dégradés (Frederickx et al. 2010 ; Chophi et al. 2019 ; Amendt et al. 2011). Il est possible de détecter les substances en utilisant plusieurs phases de développement des insectes. Par exemple, il est possible d'utiliser des larves, des pupes vivantes et des pupes vides, des insectes adultes, des exuvies et des matières fécales provenant d'insectes (Gagliano-Candela et Aventaggiato, 2001). En étudiant l'entomofaune nécrophage prélevée sur les cadavres, il est donc possible de déterminer si le corps a été déplacé après le décès, selon les arthropodes présents sur le cadavre (Marchenko et al, 2001 ; Charabidze, 2012). Par exemple, une espèce de diptère généralement associée au milieu rural retrouvée sur un corps en pleine ville pourrait prouver que le cadavre a été déplacé après la mort. Enfin, une autre utilisation de l'entomologie forensique est l'identification de victime grâce à l'ADN présente dans le tractus digestif des larves de diptère (Frederickx et al. 2010 ; Amendt et al. 2011).

1.4 MODÈLE PORCIN VERSUS HUMAIN

Pour étudier la décomposition, plusieurs cadavres d'animaux sont utilisés, comme des lapins, des souris, des chevreuils, etc. (Ehrenfellner et al. 2017 ; Matuszewski et al. 2020 ; Watson et Carlton, 2005), mais ce sont les carcasses de cochon qui sont le plus fréquemment utilisées. Les cochons sont similaires à l'humain sur plusieurs points, que ce soit au niveau de leur alimentation, de leur anatomie interne, de leur composition (ex. ratio muscle vs gras), de leur pilosité, ou du système musculosquelettique etc. (Douglas, 1972 ; Connor et al. 2018). De plus, les carcasses de cochon sont plus facilement accessibles et sont peu coûteuses, ce qui permet d'effectuer des expériences avec un plus grand nombre de répétitions (Matuszewski et al. 2020). L'utilisation de carcasses d'animaux comporte moins de contraintes au niveau éthique et logistique que l'utilisation de donneurs humains (Dawson et al. 2020). Cependant, peu d'études ont cherché à savoir si les carcasses de cochon sont vraiment une bonne alternative à l'utilisation de cadavres humains et donc, s'ils peuvent être utilisés pour étudier l'IPM ou en entomologie forensique. Une de ces études est celle de Connor et al. effectuée en 2018. Dans ce projet, 17 carcasses de porc et 22 cadavres humains ont été placés sur le site du *Forensic Investigation Research Station (FIRS*), de l'Université Mesa, au Colorado, entre septembre 2012 et décembre 2015. Cette étude visait à comparer la décomposition entre les deux types de cadavre grâce à la méthode DJC, en comparant la température requise pour atteindre le même total body score (TBS), une méthode permettant de quantifier la décomposition lui attribuant une note (Megyesi et al. 2005). Les chercheurs ont conclu que les cochons ne représentaient pas une bonne alternative pour étudier la décomposition humaine, car la vitesse de décomposition variait de façon significative entre les cadavres. Une autre étude en est venue à la même conclusion. Dawson et al. (2020) ont comparé la vitesse de décomposition ainsi que l'activité entomologique entre les cadavres humains et les carcasses de cochon. Cette étude a été réalisée sur le site de AFTER (Australian Facility for Taphonomic Experimental Research), en Australie, durant l'été et l'hiver. Ils ont remarqué que les cochons se décomposaient plus rapidement que

les humains et que l'abondance d'arthropodes nécrophages était de deux à cinq fois supérieure sur les cochons que sur les humains, durant les deux premières semaines de décomposition. La diversité entomologique était également bien différente entre les deux types de corps. Au Canada, et en particulier au Québec où le climat est différent de celui du Colorado et de l'Australie, aucune étude comparative similaire n'a été effectuée à ce jour, durant la saison estivale, ce qui justifie l'intérêt du présent projet de recherche. Le climat exerce une influence sur la décomposition (température, humidité, etc.), mais également sur les insectes présents et leur activité. Il est également important de recréer ces expériences dans notre région, puisque les espèces de diptère, par exemple, ne sont pas nécessairement les mêmes dans toutes les régions du monde. Le phénotype d'une même espèce pourrait également varier d'une région à l'autre.

1.5 Études réalisées au Canada

Au Canada, aucune étude comparant la diversité entomologique et la décomposition sur les cadavres humains et les carcasses de cochon n'a encore été effectuée. Il y a également très peu de données de disponibles sur la colonisation des cadavres humains par les diptères d'intérêt forensique, au pays. Ceci justifie l'intérêt de notre étude. Des projets sur la décomposition et l'entomologie forensique ont eu lieu dans de nombreuses provinces, avec l'utilisation, pour la plupart, de carcasses de cochon pour répondre aux objectifs de recherche (ex. Saskatchewan : Sharanowski et al, 2008, Alberta : Anderson, 2011, Nouveau-Brunswick : Michaud et Moreau, 2009, Nouvelle-Écosse : Simpson et Strongman, 2002, Colombie-Britannique : Anderson et VanLaerhoven, 1996). Une première étude sur la décomposition de cadavres humains au Canada a été réalisée par Cockle et Bell (2017). Cette étude s'est intéressée à la progression de la décomposition en utilisant des cas réels provenant d'enquêtes policières un peu partout au Canada, mais principalement en Colombie-Britannique et en Ontario. Au Québec, avant 2019, il n'existait aucune donnée publiée sur le sujet, la première étude ayant eu lieu à

l'Université du Québec à Trois-Rivières (Maisonhaute et Forbes, 2020). Cette étude s'est intéressée à la décomposition ainsi qu'à la diversité et la succession des arthropodes nécrophages sur trois carcasses de cochon. En tout, 86 espèces d'arthropodes, dont 40 espèces de diptère, provenant de 54 familles différentes ont été récoltées. Une étude sur les insectes nécrophages associés avec la décomposition d'une carcasse de cochon, durant l'hiver avait eu lieu en 2012-2013, mais les données ont été publiées uniquement en 2021 (Taillefer et Giroux, 2021). Cette étude a démontré « qu'une exposition de la carcasse aux températures froides, dès le début de l'expérience, a limité le nombre d'espèces d'insectes pouvant s'en nourrir. » Au début de leur étude, soit en novembre, seulement quelques diptères adultes, provenant de 6 espèces ont été récoltés. Au printemps, 21 espèces de diptères provenant de 11 familles ont été recueillis, dont les Heleomyzidae, qui sont dans les premiers diptères à avoir visité la carcasse. Les premières pontes d'œufs ont également eu lieu lors de cette saison. Par la suite, d'autres études utilisant des carcasses de cochon ont vu le jour, toujours en lien avec l'UQTR (ex. Séguin et al. 2022). Avec l'ouverture du site de Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales] (REST[ES]) en 2020, les études utilisant des donneurs humains ont débuté. La première étude en entomologie forensique sur donneurs humains a pris place en 2020 sur le site de REST[ES], où deux donneurs ont été étudiés durant l'été (Maisonhaute et Forbes, 2023). L'objectif de ce projet était, encore une fois, d'étudier la décomposition et la communauté d'insectes nécrophages. Lors de cette étude, 20 familles de diptères ont été identifiées sur les donneurs humains. Les espèces ayant été le plus fréquemment observées ont été, *P. regina, L. illustris* (Calliphoridae) et *S. nigriceps* (Piophilidae). Mon projet de recherche s'inscrit directement dans la continuité des recherches effectuées en entomologie forensiques sur le site REST[ES]. Mon étude est justifiée, encore une fois puisqu'aucune étude comparative n'a eu lieu sur les communautés de diptère associés aux donneurs humains et aux carcasses de cochon. Les études de Maisonhaute et Forbes se sont penchées sur le sujet, sans pouvoir en faire une étude comparative, puisque les deux études n'ont pas eu lieu en même temps, ni au même endroit.

1.6 OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

L'objectif de ce projet était d'étudier la structure et la dynamique des communautés de diptères associés à la décomposition de cadavres porcins et humains au Québec, durant la saison estivale.

Le premier sous-objectif était de déterminer s'il existe des similitudes au niveau des stades de décomposition entre les donneurs humains et les carcasses de cochon. Par exemple, si les mêmes stades de décomposition sont atteints au même moment ou non. Mon hypothèse pour ce dernier sous-objectif est que les stades de décomposition ne seront pas atteints aux mêmes moments entre les cadavres humains et les carcasses de cochon. Bien qu'il existe de nombreuses similitudes entre le corps humain et le cochon, il existe également des différences. Par exemple, dans l'étude de Connor et al. (2018), 60 % des cochons ont présenté une rupture des intestins à travers l'abdomen, mais aucun pour les corps humains, puisque le tractus gastro-intestinal est beaucoup plus long chez le cochon (23 m cochon vs 7,5 m humains). De plus, toujours selon l'étude de Connor et al. (2018), il existe plus de variations au niveau des cadavres humains (ex. poids, taille, composition corporelle, cause de la mort, etc.) tandis que les cochons présentent peu de variation, ce qui peut venir modifier la décomposition.

Un deuxième sous-objectif était de découvrir si les donneurs humains et les carcasses de cochon seraient colonisés par les mêmes espèces d'insectes et avec environ la même abondance.

Notre hypothèse était que la diversité des insectes et leur abondance seraient différentes entre les donneurs humains et les carcasses de cochon. En effet, les variations entre les humains et les cochons (ex. différence de poids et position des carcasses sur le sol) peuvent venir influencer l'activité entomologique. Par exemple, dans l'étude de Dawson et al. (2020), les carcasses porcines présentaient une plus grande diversité et abondance d'insectes que les cadavres humains. Ces variations ont été attribuées à

plusieurs facteurs, notamment la différence de masse entre les deux types de cadavre, la cause du décès, la diète, le microbiome, etc.

Un troisième sous-objectif était de déterminer à quel moment chaque famille et espèce de diptère serait présente sur les cadavres.

Notre hypothèse était que certaines espèces de diptère arriveraient à un moment précis sur les cadavres et ne seraient pas présentes durant tous les stades de décomposition. Par exemple, lors de l'étude de Maisonhaute et Forbes (2020), trois espèces de Calliphoridae, soit *C. livida, C. vomitoria et L. illustris*, n'étaient présentes que lors des huit premiers jours de décomposition, ce qui démontre que ces espèces préfèrent les cadavres frais. Ces résultats ont également été obtenus par Feddern et al. en 2019, où *C. vomitoria* était présente lors du stade frais jusqu'à la décomposition active.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 SITE D'ÉTUDE

Cette étude s'est déroulée sur le site de Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales] (REST[ES]). Il s'agit d'un site sécurisé extérieur dédié à l'étude des différents processus liés à la décomposition humaine. Ce site acquis par l'Université du Québec à Trois-Rivières se situe dans le parc industriel et portuaire de la ville de Bécancour (SPIPB), à une vingtaine de kilomètres de l'UQTR. Ce site de 1600 m^2 se trouve dans une jeune forêt mixte constituée principalement d'érables et d'épinettes blanches (Pecsi et al. 2020). Une section du site est réservée uniquement aux donneurs humains. Cette partie, d'une dimension de 40 x 40 m est hautement sécurisée. En effet, elle est munie d'une clôture de 2 m, d'une clôture électrique ainsi que d'une clôture en fil barbelé. Cette protection est nécessaire afin d'empêcher les intrus et les animaux charognards d'y pénétrer. Les carcasses de cochon utilisées dans notre étude ont été déposées quelques mètres à l'extérieur du site réservé aux donneurs humains (Figure 2.1). Une station météo (Hobo U30 Station NO Remote Communication, Onset Computer Corporations) placée à l'intérieur du site clôturé enregistre la température, l'humidité, la pluviométrie, le rayonnement solaire, la vitesse et la direction du vent. La station météo enregistre les données toutes les 15 minutes durant les expériences. Les données ont été enregistrées du 9 juin 2021 au 18 octobre 2021**.** Toutes les données liées à la température extérieure et au DJC proviennent de cette station météo.

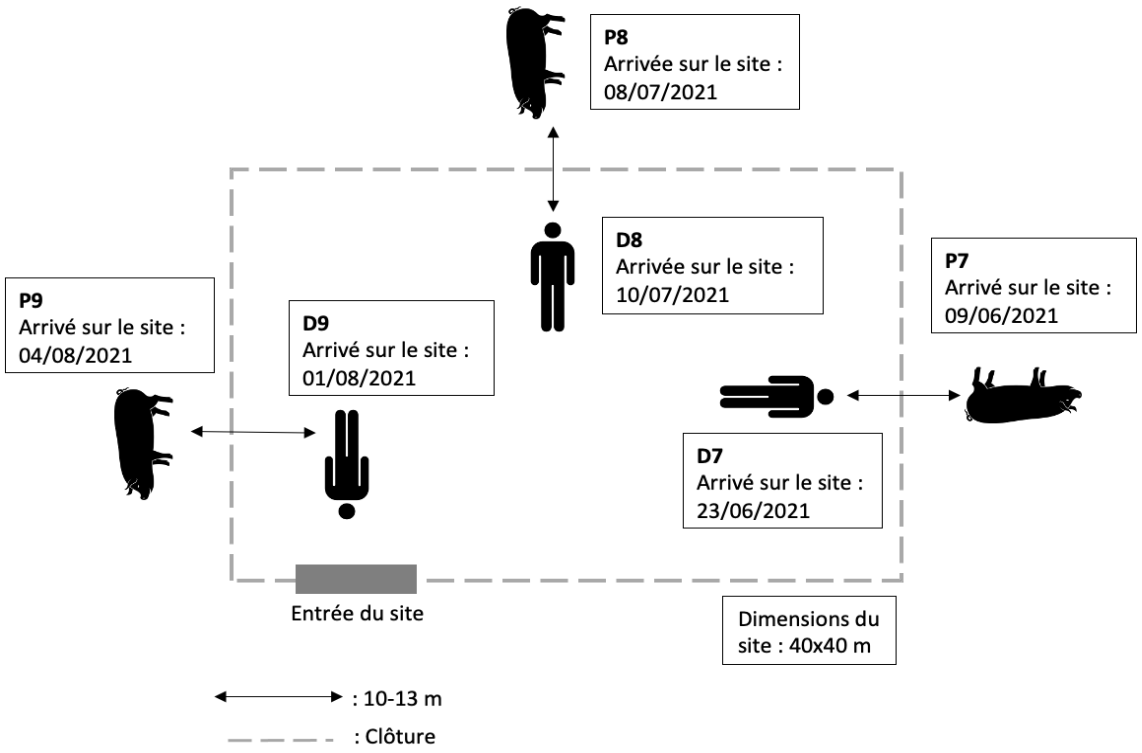


Figure 2-1 Schéma de la disposition des donneurs humains et des carcasses de cochon, ainsi que leur date d'arrivée sur le site de REST[ES]

2.2 DONNEURS HUMAINS ET CARCASSES DE COCHON

2.2.1 LES DONNEURS HUMAINS

Les trois donneurs humains (D7, D8 et D9) proviennent du programme de don de corps du Département d'anatomie de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Un certificat d'éthique (21-05) a été acquis auprès du Sous-comité d'éthique du laboratoire d'enseignement et de la recherche en anatomie (SCELERA), afin de pouvoir utiliser du matériel cadavérique. Les corps ont été évalués par le laboratoire d'anatomie de l'UQTR avant d'être acceptés et placés sur le site REST[ES], à Bécancour (Tableau 3-1). Lors du transport, les corps ont été placés dans une housse mortuaire. Une fois en place, ils ont

été sortis de leur sac mortuaire et placés sur le dos dans une position naturelle. Tous les corps étaient nus et déposés à même le sol. Tous les donneurs ont été réfrigérés à 4 °C, entre 19 et 50 h (40 h pour D7, 19 h pour D8 et 50 h pour D99). Cette période correspond au temps écoulé entre le décès et l'arrivée du donneur sur le site de REST[ES]. La distance entre les différents donneurs humains était d'environ 10 m.

Tableau 2-1 Informations recueillies sur les trois donneurs humains de cette étude. Il s'agit de données démographiques (sexe et âge), physiques (poids, taille et Indice de masse corporelle (IMC)), de la date et l'heure du décès ainsi que de l'arrivée sur le site de REST[ES] et des informations sur l'historique médical et la cause du décès.

Numéro de donneur	7	8	9
Date et heure du décès	21/06/2021 à 07:35 pm	09/07/2021 à 07:00 pm	30/07/2021 à 08:00 am
Date et heure d'arrivée à REST[ES]	23/06/2021 heure non disponible	10/07/2021 à 02:30 pm	01/08/2021 à 10:10 am
Âge	91	93	72
Sexe	M	F	F
Poids (kg)	80	60	65,7
Taille (cm)	170	153	155
IMC	27,6	25,6	27,8
Cause du décès	Cancer métastatique du poumon et de la prostate	Déconditionnement [sédentarité], Thrombose membre inférieur probable, démence	Arythmie maligne
Historique médical	Cancer métastatique du poumon	Cancer de l'ovaire (1954)	Non disponible
Médication	Non disponible	Synthroid et médicament pour dormir	Pregabalin, Mylan-nitro

2.2.2 Carcasses de cochon

Les trois carcasses de cochon (P7, P8 et P9) utilisées dans cette étude proviennent de la boucherie Côté de Ste-Eulalie, où elles ont été tuées à l'aide d'un pistolet à projectile perforant, en respectant les normes sanitaires émises par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ). Il n'a pas été nécessaire d'obtenir de certificat d'éthique spécifique pour les carcasses de cochon, puisqu'il s'agit de bêtes destinées à la consommation humaine. Les carcasses de cochon étaient d'environ 70 kg, afin de se rapprocher le plus possible du poids d'un humain adulte moyen. Les bêtes ont été abattues le mardi et récupérées le mercredi. Avant d'être déposées sur le site, les carcasses ont été réfrigérées à la boucherie, durant 24 h, afin d'être à une température similaire à celle des donneurs humains (4 °C), qui étaient également réfrigérés. Les carcasses de cochon ont été placées dans des housses mortuaires lors du transport, pour éviter une éventuelle colonisation par les insectes nécrophages. Les carcasses de cochon ont été mises à l'extérieur de l'enceinte sécurisée dédiée aux corps humains. Les carcasses étaient situées entre 2 et 3 m de distance de la clôture du site. Les trois carcasses de cochon ont été placées sur leur côté droit directement sur le sol (Figure 2-1).

2.3 Préparation des corps

Des sondes de température ont été installées dans la bouche et dans le rectum (parfois réinsérée au niveau du vagin) de chaque corps, afin de permettre un suivi constant des changements de température des cadavres. Tous les cadavres ont été observés et photographiés, afin de repérer des anomalies ou des blessures présentes avant le début de la décomposition et qui pourraient affecter celle-ci. Une première observation entomologique a été effectuée dès le dépôt des corps sur le site, afin de s'assurer que le corps n'avait pas déjà été colonisé par les insectes nécrophages, avant son arrivée sur le

site. Une fois que toutes les observations et manipulations ont été effectuées, une cage était placée par-dessus les corps. Cette cage en grillage de 2 m de long par 1,2 m de large et 75 cm de haut, possède des ouvertures de 2,5 cm, ce qui permet le passage des insectes, mais empêche les animaux et les oiseaux charognards d'accéder au cadavre. Le but étant de comparer la décomposition sur les cochons et sur les donneurs humains, ceux-ci ont donc été placés sur le site en paires, à des dates le plus rapprochées possibles. Le premier cochon (P7) a été mis sur le site d'étude le 9 juin 2021 suivi du premier donneur humain (D7), le 23 juin 2021. La deuxième carcasse de cochon (P8) est arrivée à REST[ES] le 7 juillet 2021, suivie de près par le donneur humain (D8) le 10 juillet 2021. La dernière paire a été placée le 4 août 2021 pour le troisième cochon (P9) et le 1er août pour le dernier donneur humain (D9). Une distance entre 10 et 13 m séparait la carcasse de cochon et le donneur humain de chaque paire (Figure 3-1).

2.4 Observation et échantillonnage

Des observations et des échantillonnages ont été effectués selon une fréquence de deux fois par jour durant les trois premiers jours, puis une fois par jour jusqu'à l'atteinte du stade de décomposition avancée et de la migration des larves de diptère, pour la pupaison. Par la suite, la fréquence a été diminuée à une fois tous les deux jours ou trois fois par semaine, jusqu'à l'atteinte du stade sec, puis une fois par semaine jusqu'à l'atteinte d'une faible activité entomologique. Une première observation du corps était faite durant 1 minute, alors que la cage recouvrirait encore le cadavre. Par la suite, la cage était retirée pour permettre la manipulation des corps et l'observation de chaque partie de ceux-ci. Chaque cadavre était photographié, afin de faire un suivi visuel de l'évolution de la décomposition. Une feuille de données (voir annexe A) était utilisée afin d'uniformiser les observations. La météo, la date, le stade de décomposition, les insectes présents, leur abondance et leur stade de développement y étaient notés. Le stade de décomposition a été déterminé à l'aide d'un indice de décomposition (total body score

(TBS)) de Megyesi et al. (2005) pour les donneurs humains et de Keough et al. (2017), pour les cochons. Ces deux indices permettent de quantifier la décomposition en séparant le corps en trois sections, soit la tête et le cou, le tronc, et les membres, étant donné que les différentes parties du corps ne se décomposent pas au même rythme. Chaque section du corps est évaluée séparément, puis chacune des notes est additionnée pour faire un total (TBS). Les deux outils utilisés séparent la décomposition en quatre stades : frais, actif, avancé et restes secs (Figure 2-2). Le stade gonflé a été inclus dans le stade de décomposition active, conformément aux deux échelles de décomposition utilisées, soit celle de Megyesi et al. (2005) pour les cadavres humains et de Keough et al. (2017) pour les carcasses de cochon. De plus, la squelettisation a été inclus dans le stade de restes secs. Les degrés-jours cumulés (DJC) ont été utilisés afin de comparer la durée des stades de décomposition.

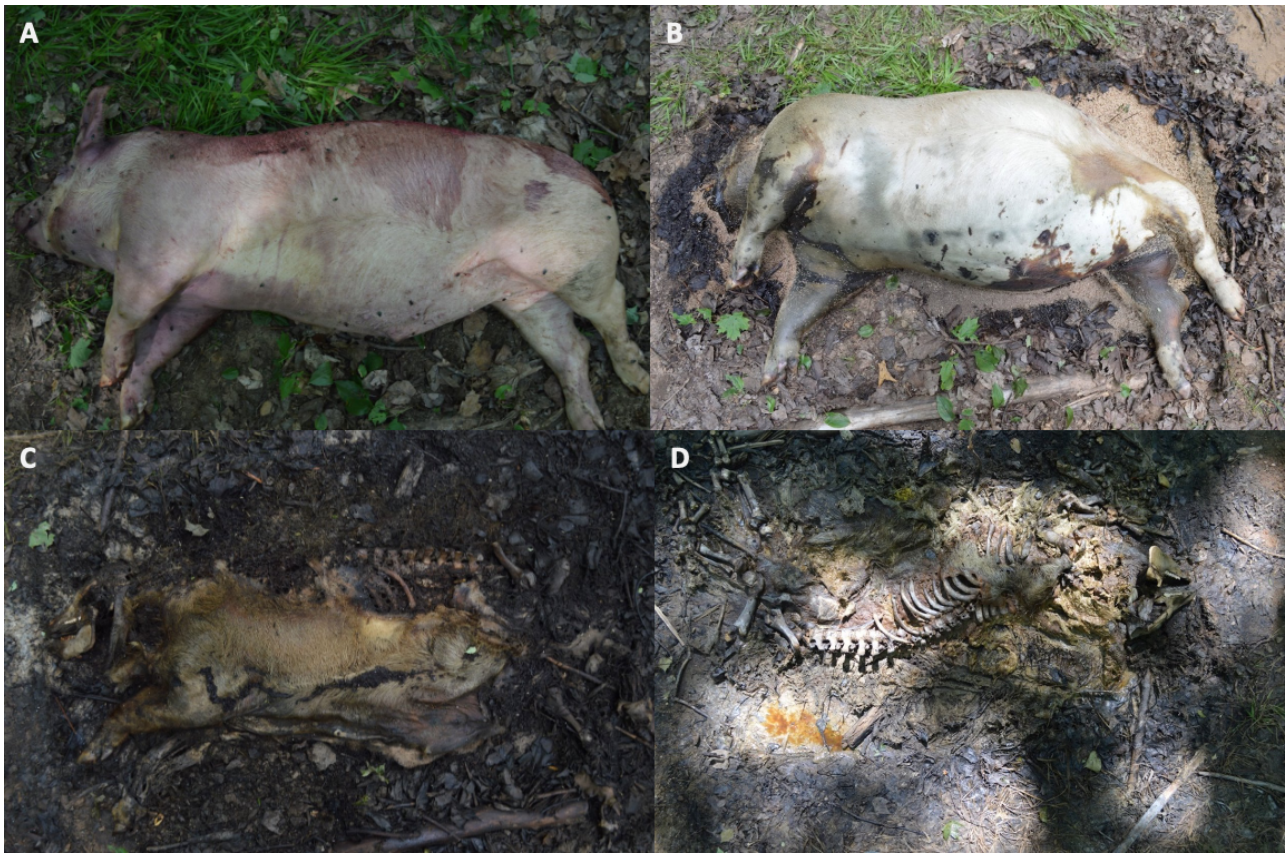


Figure 2-2 Stades de décomposition atteints par les carcasses de cochon lors de cette étude. A : stade frais, B : stade de décomposition active, C : stade de décomposition avancée, D : stade de restes secs.

Des échantillons d'œufs et de larves de diptère ont été prélevés à l'aide de pinces entomologiques et placés dans un pot contenant un papier absorbant humide. Chaque échantillon a été identifié avec la date, le numéro du cadavre, le numéro de l'échantillon, le type d'échantillon (ex. œufs ou larves) et l'endroit de la collecte. Ces informations étaient également notées sur la feuille de prise de données. Des diptères adultes ont également été capturés à l'aide d'un filet entomologique et placés dans un sac en plastique de style Ziploc. Les échantillons de diptères adultes étaient également identifiés avec la date et le numéro du cadavre. Les échantillons étaient ensuite apportés au laboratoire d'entomologie forensique à l'Université du Québec à Trois-Rivières, afin d'être élevés jusqu'au stade adulte, pour permettre l'identification. Les diptères adultes

récoltés au filet étaient placés au congélateur pour les tuer et les préserver jusqu'à leur identification.

2.5 ÉLEVAGE DES ÉCHANTILLONS EN LABORATOIRE

Les échantillons d'œufs et de larves récoltés sur les donneurs humains et les carcasses de cochon étaient placés dans une chambre de croissance (ThermoscientificTM, model PR505755L) sous conditions contrôlées. Cette chambre était tenue à une température de 23 °C, avec un taux d'humidité d'au moins 60 % et une photopériode de 14 h de jour et 10 h d'obscurité. Les larves et les œufs ont été mis sur un morceau de foie de porc frais qui était lui-même déposé dans une coupelle de papier d'aluminium. Le tout était mis sur des copeaux de bois humides, dans un pot Mason de 500 ou 1000 mL. Le couvercle du pot Mason a été remplacé par un morceau de tissu de mousseline, pour permettre à l'air de circuler. Un ruban adhésif était collé sur tous les pots avec les informations nécessaires pour retracer la provenance de l'échantillon. La date de la prise de l'échantillon, l'endroit de la récolte et le stade de développement étaient écrits dans un tableau Excel. Un suivi quotidien était effectué jusqu'à l'atteinte du stade adulte par tous les spécimens. Lors de ces suivis, les stades de développement étaient notés, les copeaux de bois ainsi que les morceaux de foie de porc étaient humidifiés et des morceaux de foie frais étaient ajoutés, au besoin dans les coupelles. Lorsque toutes les larves avaient atteint le stade de pupe, la coupelle et la viande étaient retirées du pot. Un suivi de l'élevage a été effectué quotidiennement. Une fois les adultes émergés, ils étaient prélevés et tués, en les plaçant au congélateur, pour être ensuite identifiés à l'espèce à l'aide d'un binoculaire et de clés d'identification.

Les espèces de la famille des Calliphoridae ont été identifiées à l'aide de deux clés d'identification (Jones et al. 2019 ; Marshall et al. 2011). La clé d'identification de Rochefort et al. (2015) a permis d'identifier les diptères de la famille des Piophilidae. Les

autres familles ont été identifiées à l'aide des clés mentionnées précédemment et d'un document d'identification produit par Maisonhaute (2023).

2.6 Analyse des données

Afin de répondre au premier sous-objectif qui est de déterminer si la vitesse de décomposition des donneurs est comparable à celle des carcasses de cochon, des données sur la décomposition ont été récoltées, lors de chaque visite sur le site. Ces données comprennent, des observations visuelles de la décomposition et la quantification de celle-ci à l'aide des échelles de Megyesi et al. et de Keough et al. La durée des stades de décomposition a été mesurée en DJC. Pour répondre au deuxième sous-objectif, soit de déterminer si les mêmes espèces de diptère seront présentes sur les deux types de cadavres, des diptères de différents stades de développement (œufs, larves, pupes et adultes) ont été recueillis et identifiés sur les deux types de cadavre. Ces mêmes observations visuelles ont permis de répondre à une autre question de ce deuxième sous-objectif qui était de déterminer si l'abondance des différentes familles de diptère est semblable entre les deux types de cadavre. Pour ce faire, un dénombrement visuel a été effectué lors de chaque échantillonnage. Des analyses statistiques ont été effectuées au niveau de l'abondance. Comme la distribution n'était pas normale, le test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour déterminer s'il y avait une différence significative entre l'abondance des familles de diptère observées chez les donneurs humains et les carcasses de cochon. Finalement, pour répondre au dernier sous-objectif qui était de déterminer à quel moment de la décomposition les différents diptères sont présents, les diptères récoltés et observés ont été classés dans un tableau selon les DJC et les stades de décomposition pour chaque cadavre de l'étude.

3 RÉSULTATS

3.1 CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

La température moyenne quotidienne lors de ce projet, qui s'est déroulé entre le 9 juin et le 18 octobre 2021, a été de 17,9 ± 5,3 °C (moyenne ± écart-type). La température maximale a été enregistrée le 26 août 2021, avec 33,1 °C. Il s'agit également de la journée avec la température moyenne quotidienne la plus élevée avec 26,6 °C (Figure 3-1). La température minimale a été enregistrée le 28 septembre 2021 avec 4,3 °C. Ici aussi, il s'agit de la journée avec la température moyenne quotidienne la plus faible, avec 9,1 °C. Le nombre de degrés-jours cumulés enregistrés entre le 9 et le 30 juin a été de 413,3, avec une température moyenne de 18,8 °C. Pour le mois de juillet, le total a été de 580,8 DJC et une moyenne de température de 18,7 °C. Le mois d'août a été le plus chaud avec une température moyenne de 21,8 °C, pour un total de 675,6 DJC. En septembre, le nombre de degrés-jours cumulés a été de 461,9 et la température moyenne de 15,4 °C. Finalement, entre le 1er et le 18 octobre, le total de degrés-jours cumulés a été de 224,5 avec une moyenne de 12,5 °C.

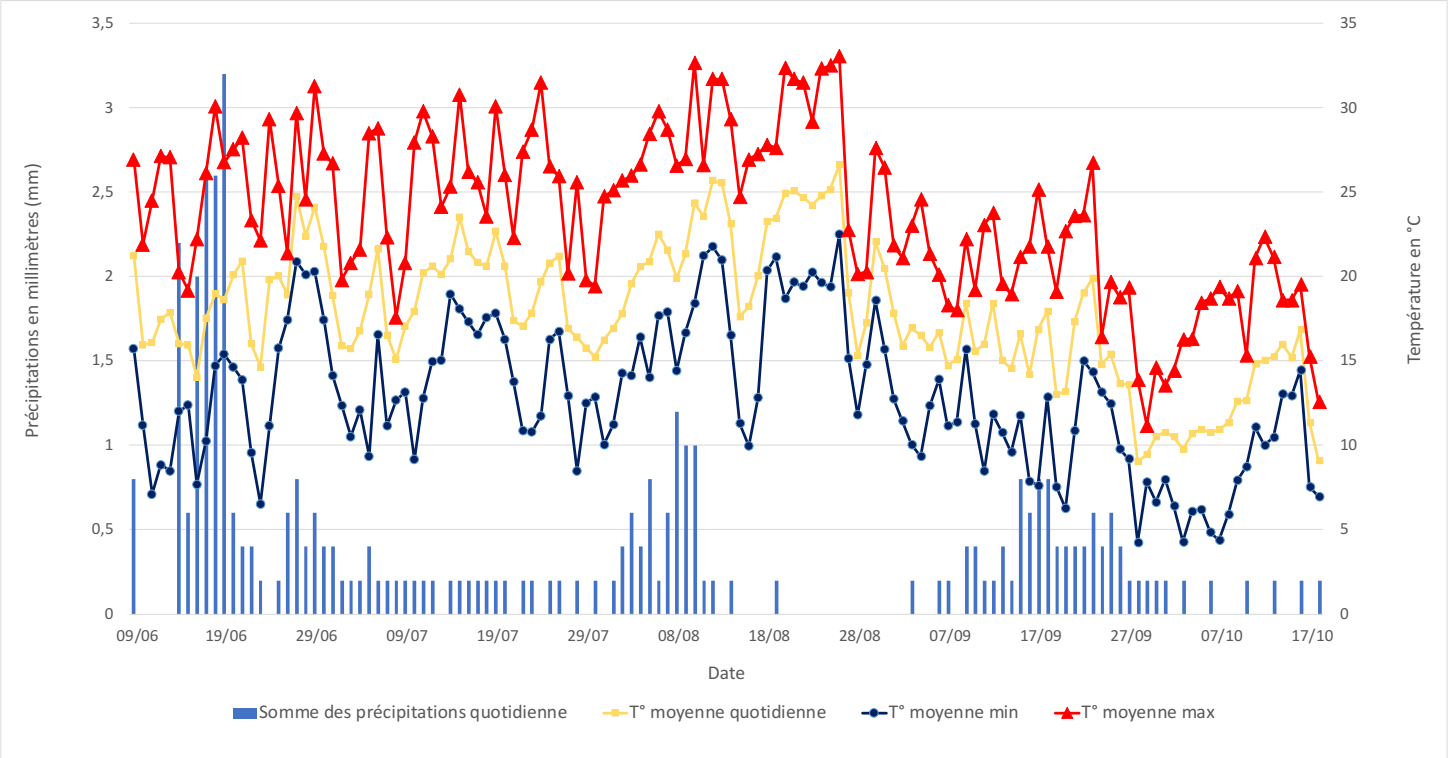


Figure 3-1 Température moyenne quotidienne, minimale, maximale et total des précipitations quotidiennes enregistrés sur le site REST[ES] entre le 9 juin et le 18 octobre 2021.

La quantité moyenne quotidienne de pluie tombée sur le site au cours de l'étude est de 0,32 mm. La journée ayant reçue le plus de précipitation est le 19 juin 2021 avec une somme de 3,2 mm de pluie. La quantité totale de pluie reçue sur le site durant la période d'expériences a été de 42,4 mm (Figure 2). Les mois de juin (du 9 au 30), juillet et août ont reçu des précipitations de 18,6 mm, 5,4 mm et 7,2 mm respectivement, tandis que septembre et octobre (du 1er au 18) ont enregistrés 9,8 mm et 1,4 mm de pluie.

Le nombre total de DJC atteint par D7 a été de 2109 DJC, tandis que pour P7, il a été de 2356. La deuxième paire de cadavre constituée de D8 et P8 a atteint 1786 et 1835 DJC respectivement. Finalement, D9 a cumulé 1362 DJC tandis que le total pour P9 a été de 1308 DJC.

Les températures internes prises à l'aide des sondes ont été différentes entre tous les cadavres à l'étude (Figure 3-2). La température la plus élevée enregistrée pour les

donneurs humains a été de 40 °C au niveau de la tête de D9, le 14 août. Pour les carcasses de cochon, la température la plus élevée a été de 44,7 °C au niveau du rectum de P9, le 11 août. Les températures les plus basses correspondent au moment où les sondes ont été posées sur les cadavres, qui étaient encore froids à ce moment. La plupart des sondes de température ont éprouvé des difficultés techniques lors de ce projet et ont cessé de fonctionner à différents moments, ce qui explique pourquoi certaines courbes sont incomplètes et que d'autres sont manquantes. Les températures les plus élevées, correspondent, pour la plupart, au moment où l'activité des larves de diptère et/ou de coléoptère était à son apogée. Il est également important de noter qu'à certains moments, les sondes se sont retrouvées à l'extérieur du corps, possiblement dû au gonflement du corps et au mouvement important produit par l'activité entomologique (masses de larves de diptère). Les sondes ont été réinstallées dès que possible, cependant, certaines températures représentent probablement la température ambiante. Les sondes placées au niveau de la bouche ont également été directement exposées aux températures ambiantes lorsque la tête se trouvait à un stade de décomposition avancée.

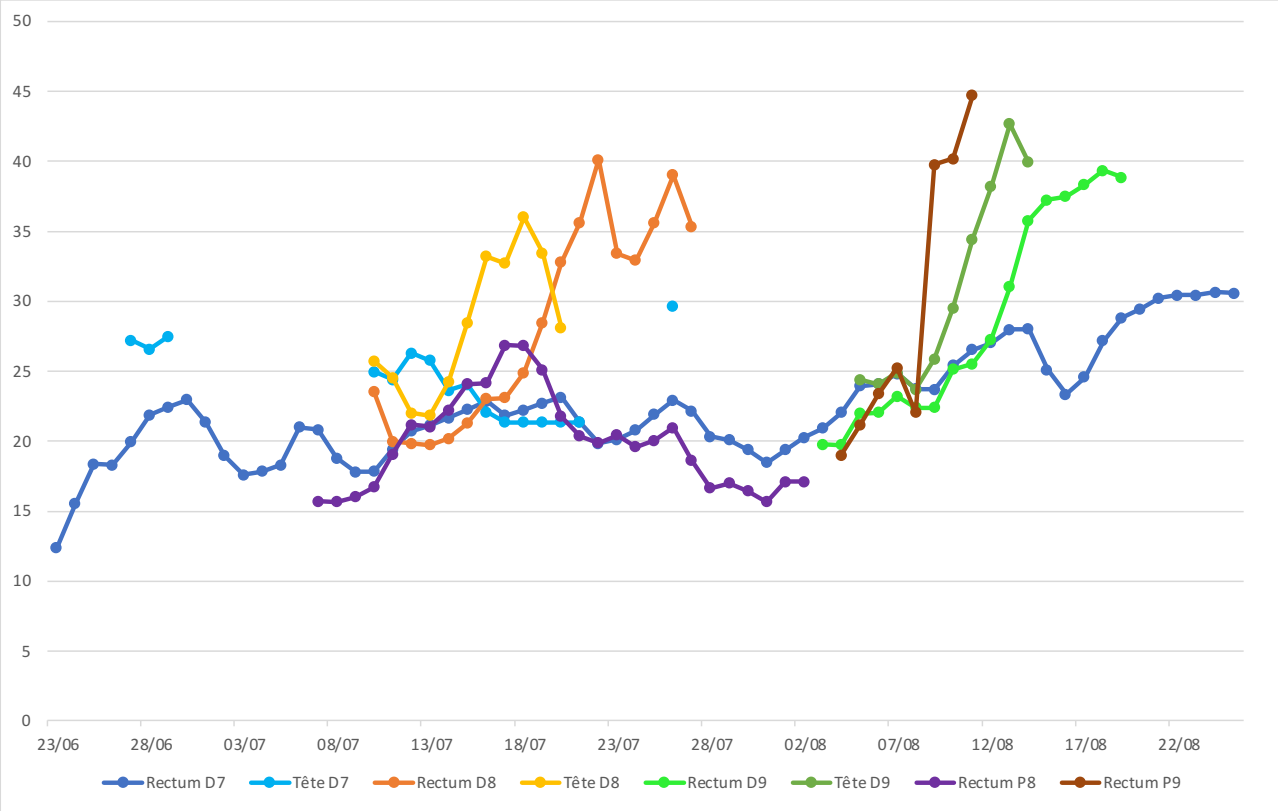


Figure 3-2 Températures internes obtenues à l'aide de sondes au niveau de la tête et du rectum des donneurs humains et des carcasses de cochon.

3.2 Décomposition

En général, la décomposition a prise plus de temps à débuter pour les donneurs humains que pour les carcasses de cochon. Les différents stades de décomposition sont, par ailleurs, survenus plus rapidement pour les carcasses de cochon en termes de DJC. En effet, le stade frais a duré en moyenne 83 DJC pour les donneurs humains (4 jours, en moyenne) et 36 DJC pour les carcasses de cochon du jour 0 au jour 2). Le stade de décomposition active a eu une durée moyenne de 159 DJC, soit entre 114 à 273 DJC pour les donneurs humains (en moyenne, du jour 5 au jour 12), et de 196 DJC pour les carcasses de cochon, soit entre 56 à 252 DJC (en moyenne, du jour 2 au jour 10). À la suite du stade actif, deux des trois donneurs humains, soit D7 et D9 se sont momifiés. En effet, la peau qui recouvrait presque l'entièreté du corps, s'est asséchée et a pris l'aspect du cuir. Cette

peau a donc créé une « coquille », freinant ainsi la décomposition des tissus et l'exposition osseuse. Ce phénomène s'est établi autour du jour 11 (233 DJC) pour D7 et environ au jour 15 (339 DJC) pour D9. Par la suite, très peu de changements sont survenus pour ces deux donneurs. La comparaison de la décomposition entre les deux types de cadavres a donc été plus complexe à partir de ce point, car seulement un des donneurs humains a pu être comparé aux carcasses de cochon (Figure 3-3). Le seul donneur humain à avoir atteint le stade de décomposition avancée est donc D8. Il a atteint ce stade entre 145 et 705 DJC (du jour 6 au jour 34), tandis que ce stade a eu une durée moyenne de 239 DJC pour les carcasses de cochon (entre 218 et 457 DJC, soit du jour 10 au jour 22, en moyenne). D8 a atteint un stade de restes secs, à partir de 784 DJC (environ au jour 38), sans toutefois présenter un stade de squelettisation complet. Le stade de restes secs a débuté à partir de 457 DJC (environ au jour 22), en moyenne, pour les carcasses de cochon. À la fin de l'expérience, il ne restait que des os et quelques morceaux de peau sèche, pour deux des trois carcasses de cochon, soit P7 et P8.

Uniquement une paire a donc pu être comparée au niveau de la décomposition. Il s'agit de D8 et de P8. Tel que discuté précédemment, D8 est le seul donneur humain à avoir présenté une décomposition similaire à celle des carcasses de cochon. En général, les stade frais et actifs ont eu une durée similaire en termes de DJC et sont survenus environ aux mêmes valeurs de DJC (frais : D8 de 18 à 59 DJC, P8 de 17 à 67 DJC; actif : D8 de 79 à 282 DJC, P8 de 67 à 296 DJC) (Figure 3-3). Les différences entre les deux types de cadavres sont survenues à partir du stade avancé, où le stade a été plus long pour D8 (560 DJC vs 273 DJC pour P8) et le stade sec s'est produit plus tardivement pour D8 (784 DJC vs 508 DJC). Certains stades de décomposition se chevauchent, puisque les différentes parties du corps n'ont pas atteint les mêmes stades, au même moment.

Tel que mentionné précédemment, la décomposition des trois donneurs humains a été assez différente (Figure 3-3). Les donneurs D7 et D9 ont cependant eu une décomposition plus similaire, puisque les deux se sont momifiés rapidement durant le processus de décomposition. Le donneur D8 est celui ayant eu la décomposition la plus rapide des trois donneurs. Il a, par exemple, atteint le stade de décomposition active à 79 DJC, soit au jour 2 comparativement au jour 6 (145 DJC) pour D7 et au jour 5 (118 DJC pour D9). Il est également le seul à avoir atteint le stade de restes secs, en présentant une exposition osseuse, ce qui s'approche le plus de la décomposition des carcasses de cochon. En effet, les tissus recouvrant ce donneur se sont davantage décomposés, laissant apparaitre une exposition osseuse importante au niveau du crâne, des os du thorax (clavicules, vertèbres, côtes) et des membres supérieurs. Lors de l'arrivée de D8 sur le site, le pied et le bas de la jambe gauche de ce donneur présentaient une coloration rouge très marquée avec de l'enflure et de la peau semblait se détacher de cette partie du corps. Dès le dépôt de D8 sur son emplacement, des diptères ont immédiatement été aperçus, surtout au niveau de ladite blessure. Durant les jours suivants, les diptères adultes semblaient attirés par la blessure. Les premiers œufs observés sur la jambe gauche ont été vus lors du deuxième jour (jour 2). Le pied gauche de D8 s'est également momifié plus rapidement que le pied droit. En effet, au jour 8, la jambe gauche présentait une coloration orangée et était colonisée par une quantité abondante de larves de diptère. Le pied gauche était sec, tandis que la jambe droite semblait plutôt « fraiche ». Enfin, le donneur D7 a eu la décomposition la moins avancée parmi les trois donneurs humains. En effet, celui-ci a eu une courte phase de décomposition active suivie immédiatement par la momification. La phase active a débuté au jour 6 (145 DJC) et a pris fin au jour 10 (217 DJC) comparativement à D8 (de 79 à 282 DJC, soit du jour 3 à 13) et D9 (118 à 321 DJC, soit du jour 5 à 14). Excepté au niveau de la tête, aucune exposition osseuse n'a été observée pour D7.

La décomposition des trois carcasses de cochon a été plus uniforme. Cependant, des petites différences au niveau des DJC nécessaires pour atteindre les différents stades de décomposition ont été observées. Le cochon P7 a eu la décomposition la plus rapide

parmi tous les cadavres à l'étude, en termes de DJC, alors que P8 a eu la décomposition la plus longue. Le cochon P7 est passé au stade de squelette après 413 DJC (jour 21), tandis que P8 et P9 ont pris 508 (jour 26) et 451 DJC (jour 19), respectivement, pour atteindre ce même stade. Le cochon P9 a donc eu la décomposition la plus rapide en termes de journées. Au jour 2, une blessure ressemblant à des serres de rapaces était présente sur la fesse gauche de P9. Cette blessure a été colonisée par les diptères, qui y ont déposé des œufs, le jour-même. Il faut cependant mentionner qu'il restait toujours de la peau séchée au niveau de l'abdomen de P9 à la fin de ce projet.

La décomposition ne s'est pas déroulée au même rythme, selon les différentes parties du corps (Figure 3-4). La tête et le cou sont les parties du corps ayant eu la décomposition la plus rapide, autant chez les donneurs humains que chez les carcasses de cochon. En moyenne, la tête et le cou ont pris 274 DJC à atteindre le stade de restes secs chez les donneurs humains et 237 DJC, pour les carcasses de cochon. La partie du corps ayant pris le plus de DJC pour se décomposer est l'abdomen. Ce résultat a été observé autant chez les donneurs humains que chez les carcasses de cochon. Uniquement P7 et P8 ont atteint le stade de squelette au niveau de l'abdomen, autour de 461 DJC, parmi tous les cadavres à l'étude. En effet, tous les autres cadavres ont plutôt atteint un stade de momification. Ceci signifie que l'abdomen des cadavres était encore recouvert par une couche de peau rigide importante avec une faible exposition osseuse (moins de la moitié de la zone) ou inexistante, à la fin de cette étude. La progression de la décomposition de l'abdomen s'est faite lentement et a cessé d'évoluer vers 815 DJC pour les donneurs humains. Pour sa part, P9 a présenté peu de changement à partir de 328 DJC. Finalement, les membres des donneurs humains se sont majoritairement momifiés, autour de 304 DJC, comparativement aux carcasses de cochon, qui ont atteint un stade de squelettisation, en moyenne à 350 DJC.

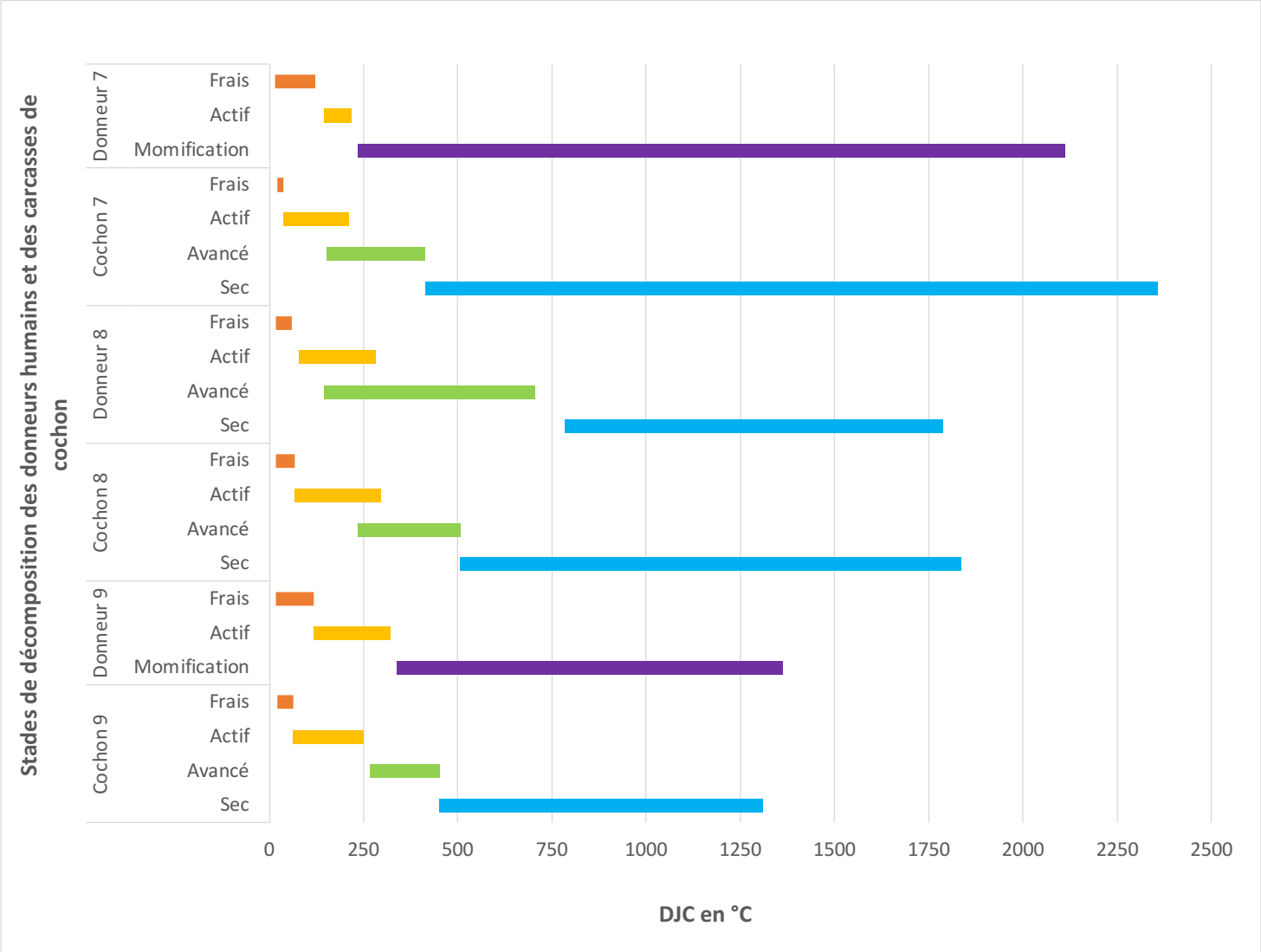


Figure 3-3 Durée en degrés-jours cumulés des différents stades de décomposition pour chaque donneur humain et carcasse de cochon étudiés sur le site de REST[ES]. Les stades de décomposition ont été déterminés à l'aide de la grille élaborée par Megyesi et al. (2005) pour les donneurs humains et à l'aide de la grille de Keough et al. (2017) pour les carcasses de cochon.

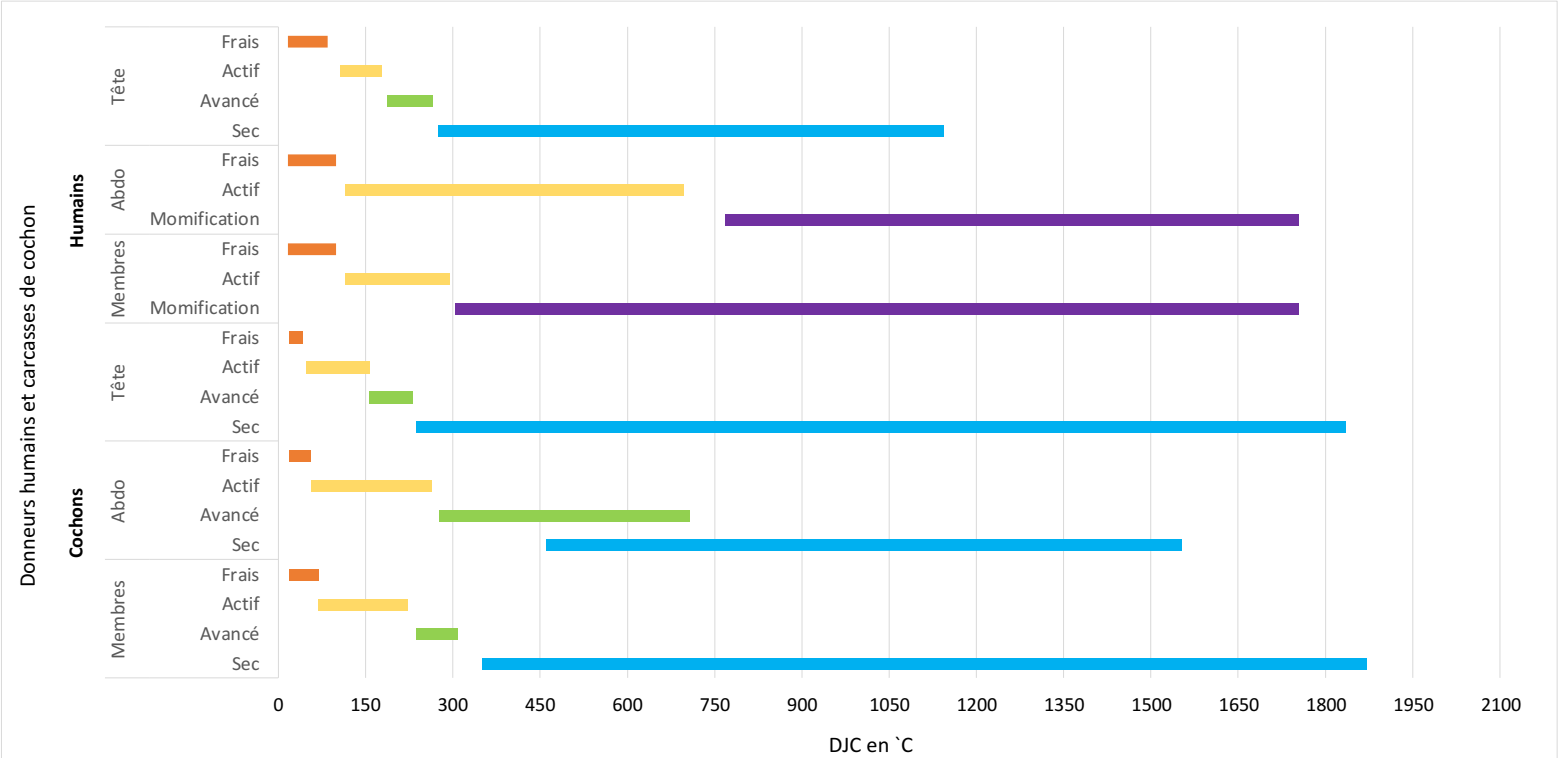


Figure 3-4 Durée moyenne, en degrés-jours cumulés des différents stades de décomposition pour les différentes parties du corps (tête, abdomen et membres) pour l'ensemble des donneurs humains et des carcasses de cochon, étudiés sur le site de REST[ES]. Les stades de décomposition ont été déterminés à l'aide de la grille élaborée par Megyesi et al. (2005) pour les donneurs humains et à l'aide de la grille de Keough et al. (2017) pour les carcasses de cochon.

3.3 Diptères

3.3.1 Diversité globale des diptères collectés

Les diptères récoltés et observés ont été identifiés à la famille, au genre ou à l'espèce. Au total, des diptères provenant de 34 familles, espèces ou genres ont été identifiés sur au moins un des six cadavres à l'étude. De ces 34 taxons, 25 ont pu être observés autant sur les cadavres humains que sur les carcasses de cochon (Tableau 3-1). Au niveau des donneurs humains, 26 espèces et familles de diptère ont été aperçues (Figure 3-5) : 23 sur D7, 20 sur D8 et 18 sur D9. Pour ce qui est des carcasses de cochon, la diversité de diptère a été plus importante avec 33 espèces et familles différentes dénombrées. La carcasse P8 est celle ayant eu la plus importante diversité avec 24 familles et espèces, comparativement à 21 pour P7 et P9. Les espèces les plus observées, autant au niveau de la fréquence que de l'abondance ont été deux espèces de la famille des Calliphoridae soit *P. regina* et *L. illustris*, ainsi que *Stearibia. nigriceps* (Meigen, 1826) (Piophilidae). Ces trois espèces ont été présentes de façon importante sur tous les cadavres à l'étude. Les diptères de la famille des Muscidae, principalement le genre *Hydrotaea* ont également été vus régulièrement, sur tous les cadavres.

La famille de Calliphoridae est celle ayant eu le plus grand nombre d'espèces inventoriées, avec dix espèces : *C. cadaverina*, *C. vomitoria* L., *C. livida*, *Lucilia coeruleiviridis* (Macquart, 1855), *L. illustris, Lucilia sericata* (Meigen, 1826), *Lucilia silvarum* (Meigen, 1826), *P. regina, Cochliomyia macellaria* (Fabricius, 1775) et *P. terraenovae*. La seconde famille avec le plus grand nombre d'espèces identifiées est celle des Piophilidae avec six espèces : *Liopiophila varipes* (Meigen, 1830), *Parapiophila flavipes* (Zetterstedt, 1847), *Piophila casei* L., *Prochyliza xanthostoma* (Walker, 1849), *Protopiophila latipes* (Meigen, 1838) et *S. nigriceps*.

Une seule famille de diptère a été observée uniquement sur les donneurs humains. Il s'agit de la famille des Polleniidae, avec cinq adultes récoltés, au total.

Les diptères observés uniquement sur les carcasses de cochon proviennent des familles Agromyzidae, Anthomyiidae, Bibionidae et Scathophagidae, où au moins un individu adulte a été récolté sur une des trois carcasses de cochon. Dans tous les cas, il s'agit d'observations rares, seulement quelques spécimens de chaque famille ont été récoltés. Également, quatre espèces de la famille des Calliphoridae ont été recueillies uniquement sur les carcasses de cochon. Il s'agit *de C. cadaverina, L. coeruleiviridis, L. sericata,* et *L. silvarum* (Tableau 3-1).

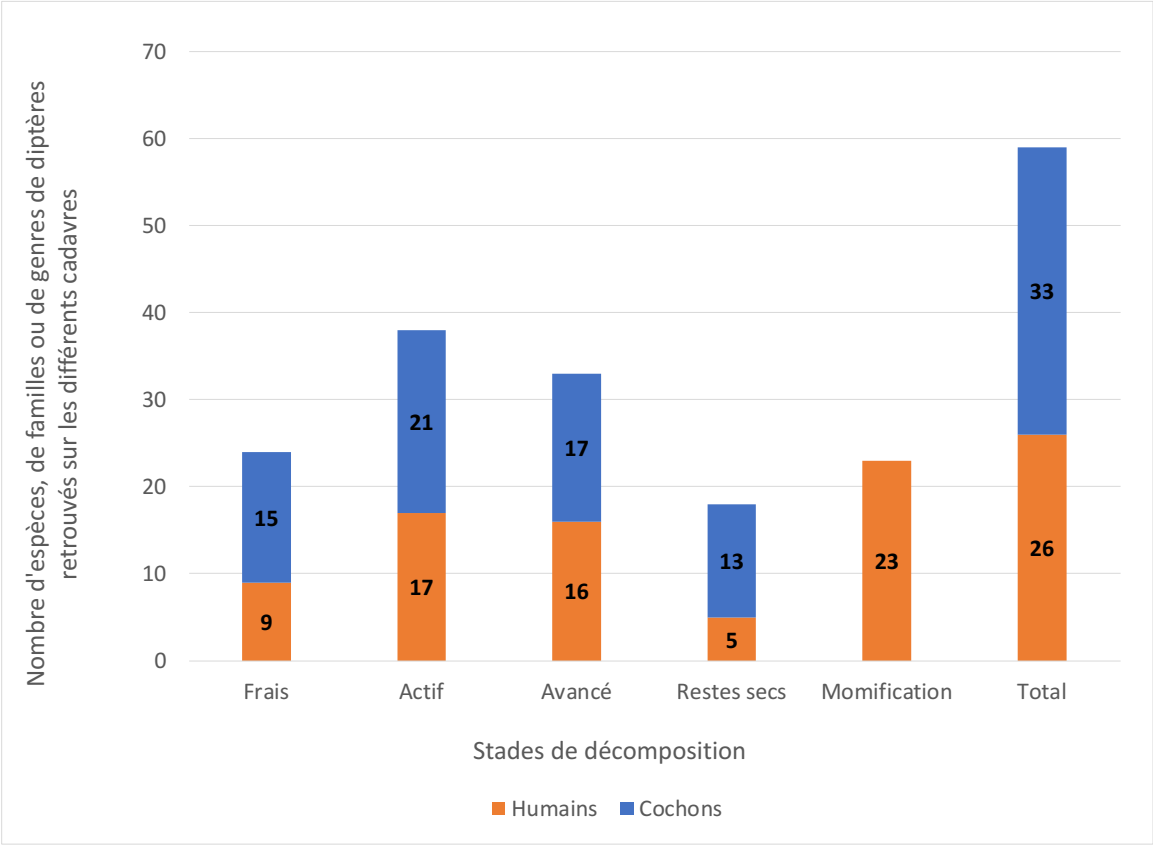


Figure 3-5 *Total des familles, espèces ou genres de diptères retrouvés sur les donneurs humains et les carcasses de cochon échantillonnés sur le site de REST[ES], selon le stade de décomposition et la diversité totale. (Orange = donneurs humains, bleu= carcasses de cochon). Uniquement le donneur 8 est représenté pour les stades avancé et sec. Le stade de momification représente les donneurs 7 et 9.*

3.3.2 Succession des diptères

Lors du stade frais, 15 espèces et familles différentes ont été observées sur les carcasses de cochon et 9 pour les donneurs humains (Figure 3-5). Quelques espèces ont été observées uniquement durant ce stade et sont donc associées au début de la décomposition. Ces espèces sont *C. livida, C. cadaverina, L. sericata et L. coeruleiviridis.* Il importe de rappeler que toutes ces espèces, sauf *C. livida,* ont été récoltées uniquement sur les carcasses de cochon et en très petite quantité.

Le stade de décomposition active a été le stade avec la plus grande diversité d'espèces pour les carcasses de cochon avec 21 espèces/famille différentes et pour les donneurs humains avec 17 espèces/famille.

La diversité a commencé à diminuer lors du stade de décomposition avancée pour les carcasses de cochon avec 17 espèces/familles, ainsi que pour D8 qui avait 16 espèces/familles. Pour D7 et D9, durant la momification, 23 espèces et familles ont été observées. Il s'agit de la diversité la plus importante, cependant, ce stade a eu la plus longue durée (Tableau 3-1). Finalement, le stade de restes secs est le stade de décomposition avec la plus faible diversité pour les deux types de cadavres. En effet, lors de ce stade, seulement cinq espèces/familles ont été observées sur D8 contre 13 sur les carcasses de cochon.

Les premiers diptères ont été observés dès le jour 0, sur tous les cadavres de cette étude. Au niveau des donneurs humains, les premiers diptères observés faisaient partie de la famille des Muscidae (dont le genre *Hydrotaea*) et des Calliphoridae, sauf pour D9. En effet, aucune mouche Calliphoridae n'a été vue au jour 0 sur ce donneur, il s'agissait plutôt de Polleniidae et de Piophilidae. Les carcasses de cochon ont été colonisées rapidement par les diptères de la famille des Calliphoridae (principalement *P. regina* et *L. illustris*) et des Muscidae. D'autres familles de diptère ont également été aperçus au jour 0 sur les carcasses de cochon soit les Piophilidae (surtout *S. nigriceps*), Sepsidae et

Sphaeroceridae. La colonisation par les diptères a été plus importante, plus rapide et plus abondante sur les carcasses de cochon.

Les premiers œufs de diptère ont été pondus au jour 0 pour la plupart des cadavres, sauf pour D7 et D9 où la première ponte est survenue au jour 2. Sur tous les cadavres, les premiers œufs ont été pondus au niveau de la tête (crâne, visage et oreilles). La seule exception est pour D8, où les premiers œufs ont été pondus au niveau des parties génitales. Pour les six cadavres étudiés, les premiers œufs de diptère pondus et récoltés provenaient de *L. illustris*. Pour trois de ceux-ci, une deuxième espèce de diptère a également pondu lors de la première ponte (D9 : *C. livida*, P7 : *C. livida* et *P. regina*, P9 : *P. regina*)

En général, les mêmes diptères d'intérêt forensique étaient présents durant les mêmes stades de décomposition, sur les deux types de cadavres (Tableau 3-1). Il existe cependant quelques différences. Par exemple, les diptères adultes de *S. nigriceps* étaient présents au stade frais sur les donneurs humains, uniquement, et ont été vus pour la première fois au stade actif, sur les cochons (Tableau 3-1). De plus, les premières larves de *S. nigriceps* ont été récoltées sur les donneurs humains à partir de 846 DJC (stade de restes secs pour D8, momification pour D7 et D9), tandis qu'au niveau des carcasses de cochon, les premières larves ont été observées à partir de 705 DJC (stade de restes secs). Les adultes et les larves de *L. illustris* ont été présents sur les cochons jusqu'au stade actif, mais jusqu'au stade avancé sur D8 (début momification D9, momification D7). Cette espèce a également été observée sur une plus courte période pour la troisième paire de cadavres, soit D9 et P9. En effet, *L. illustris* a été observé durant neuf jours sur D9 et durant six jours pour P9 (frais à actif), comparativement aux autres cadavres, où cette espèce a été observée durant 24 jours pour D7, 13 jours pour D8 et neuf jours pour P8 et P9. Les dernières observations de *P. regina* sur les donneurs humains ont eu lieu lors du stade avancé/momification (757 DJC), alors que des spécimen adultes et immatures de cette espèce ont été observés sur les carcasses de cochon, jusqu'au stade de restes secs.

Il existe également des différences entre les trois carcasses de cochon. Des diptères de l'espèce *P. regina* ont été observés jusqu'au DJC 1128 (jour 54) sur P8. Quelques larves ont été récoltées dans la graisse entourant cette carcasse, tandis que les dernières observations de cette espèce sur P7 et P9, ont eu lieu au DJC 538 (jour 28) et DJC 601 (jour 26), respectivement.

Tableau 3-1 Présence des familles et espèces de diptères retrouvés sur les donneurs humains et les carcasses de cochon échantillonnés sur le site de REST[ES], selon le stade de décomposition, les moyennes degrés-jours cumulés moyens (°C) et le stade de développement des diptères (i= immature, a = adulte) (orange = donneurs humains, bleu= carcasses de cochon). Uniquement le donneur 8 est représenté pour les stades avancé et sec. Le stade de momification représente les donneurs 7 et 9.

Familles	Espèces	Frais	Décomp. Active	Décomp. Avancée	Restes secs	Momification
		17-99 / 19-56	114-273 / 56-252	145-704 / 218-457	783-1786 / 457-1833	286-1736
Agromyzidae	–		a			
Anthomyiidae	–	a				
Bibionidae	–	a				
Calliphoridae						
	Calliphora livida	i ; i				
	Calliphora vomitoria		i			i
	Cochliomyia macellaria		a	a		i
	Cynomya cadaverina	i				
	Lucilia coeruleiviridis	i				
	Lucilia illustris	i,a ; i, a	i,a ; i, a	i,a		i,a
	Lucilia sericata	i				
	Lucilia silvarum		i			
	Phormia regina	i,a ; i, a	i,a ; i, a	i,a ; i, a	i, a	i,a
	Protophormia terraenovae	a	i,a ; i, a	i		i
Dolichopodidae	–	a	a	a		
Dryomyzidae						
	Dryomyza anilis			a	a	a
Fanniidae	–		a ; a	a ; a	a	a
Heleomyzidae	–		a	a ; a	a	a
Muscidae		a ; a	i,a ; a	a ; a	a	a
	Hydrotaea spp.	a ; a	i,a ; i, a	i,a ; i, a	i,a ; i, a	i,a
Phoridae	–	a				a
Piophilidae						
	Liopiophila varipes		a ; a	a ; a	a	a
	Parapiophila flavipes			a		a
	Piophila casei		a	a		a
	Prochyliza xanthostoma		a ; i, a	a ; i, a	a	i,a
	Protopiophila latipes		a ; a	a ; a	a ; a	a
	Stearibia nigriceps	a	a ; a	i,a ; a	i,a ; i, a	i,a
Polleniidae	–	a	a			
Sarcophagidae	–	a	a ; a	a		a
Scathophagidae	–	a				
Sciaridae	–		a ; a			a
Sepsidae	–	a	a ; a	a ; a	i, a	a
Simuliidae	–		a	a ; a		a
Sphaeroceridae	–	a	a ; a	a ; a	a ; a	a
Syrphidae	–		a	a	a ; a	a

3.3.3 Abondance

L'abondance des différentes familles de diptères (mesurée à l'aide d'observations visuelles lors de la prise de données) a été plus élevée sur les carcasses de cochon que sur les donneurs humains (Figure 3-6). Les diptères de la famille des Sepsidae et du genre *Hydrotaea* sont ceux ayant présenté la plus grande différence d'abondance entre les deux types de cadavre. En effet, les analyses statistiques du test de Kruskal-Wallis, ont démontré que ceux-ci avaient une différence d'abondance significative entre les donneurs humains et les carcasses de cochon avec une valeur de p inférieure à 0,001 (Tableau 3-2). L'abondance de ces diptères a été plus élevée sur les carcasses de cochon que sur les donneurs humains. Au niveau de la famille des Piophilidae, il n'est pas possible d'affirmer qu'il existe une différence significative entre l'abondance de cette famille sur les deux types de cadavres. Cependant, il est possible de noter une tendance. En effet, la valeur de p est de 0,054 (Tableau 3-2), ce qui est presque significatif. Il existerait donc une tendance vers une plus grande abondance de cette famille sur les carcasses de cochon par rapport aux donneurs humains.

Tableau 3-2 *Valeurs obtenues lors du test de Kruskal-Wallis, afin de comparer l'abondance de quatre familles de diptère (Calliphoridae, Muscidae (dont le genre Hydrotaea), Piophilidae et Sepsidae) entre les donneurs humains et les carcasses de cochon. Les valeurs affichées sont la valeur de la statistique du test, la valeur du degré de liberté (df) et la valeur de p.*

Famille/genre	Valeur de la statistique	df	p
Calliphoridae	2.555	1	0.110
Muscidae	2.141	1	0.143
Hydrotaea	16.975	1	< 0.001
Piophilidae	3.702	1	0.054
Sepsidae	15.100	1	< 0.001

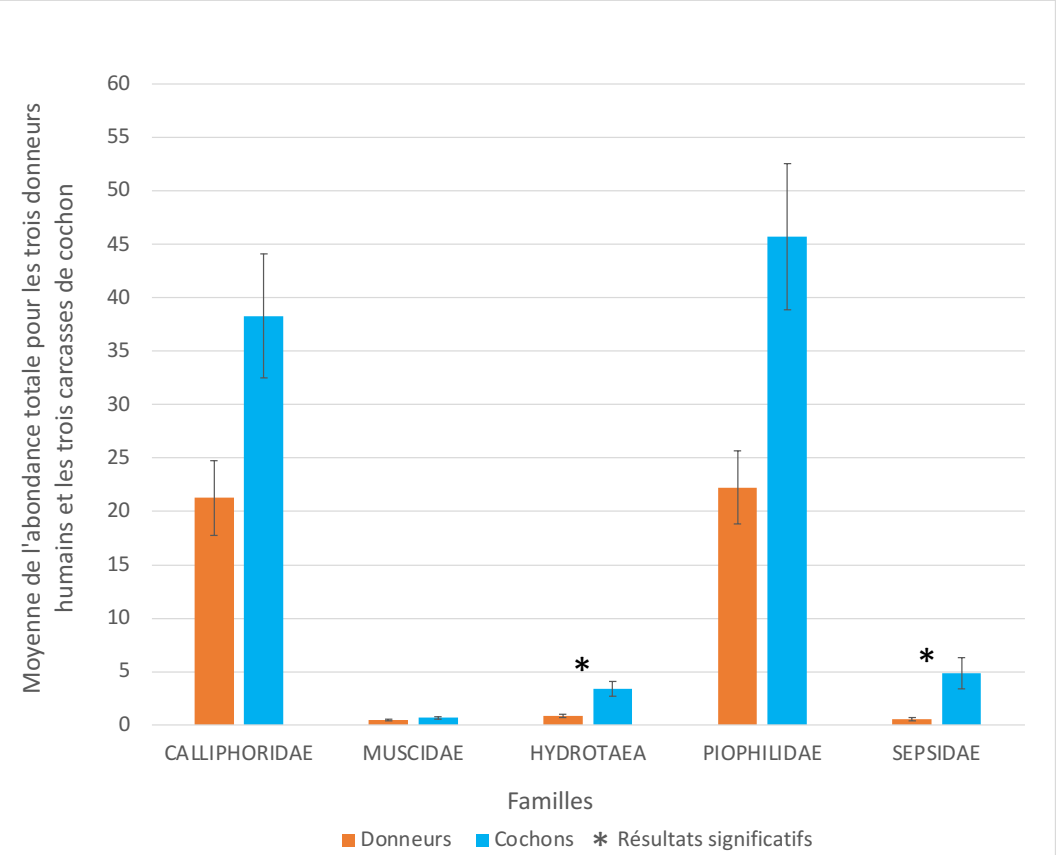


Figure 3-6 Moyenne de l'abondance totale de différentes familles de diptères observées sur les donneurs humains et les carcasses de cochon échantillonnés sur le site de REST[ES] ainsi que l'erreur type. Les valeurs de p significatives sont indiquées à l'aide d'un astérisque (Calliphoridae : p=0,110, Muscidae: p=0,143, Hydrotaea: p=0,001, Piophilidae : p= 0,054, Sepsidae: p=0,001)

L'abondance des diptères a varié entre les différents stades de décomposition. Par exemple, la famille des Calliphoridae a été plus abondante entre 106 et 340 DJC chez les donneurs humains (Figure 3-7) et entre 20 et 239 DJC pour les carcasses de cochon (Figure 3-8). Ces valeurs de DJC représentent dans les deux cas, les stades de décomposition frais jusqu'au stade de décomposition avancée (momification pour D7 et D9). La famille des Piophilidae a été plus abondante entre 186 et 762 DJC, soit entre le stade de décomposition active et le début du stade de restes secs pour D8 et de la momification pour les deux autres donneurs. Pour les carcasses de cochon, ces diptères ont été abondants entre 161 et 905 DJC, soit du stade de décomposition active et le stade de restes secs.

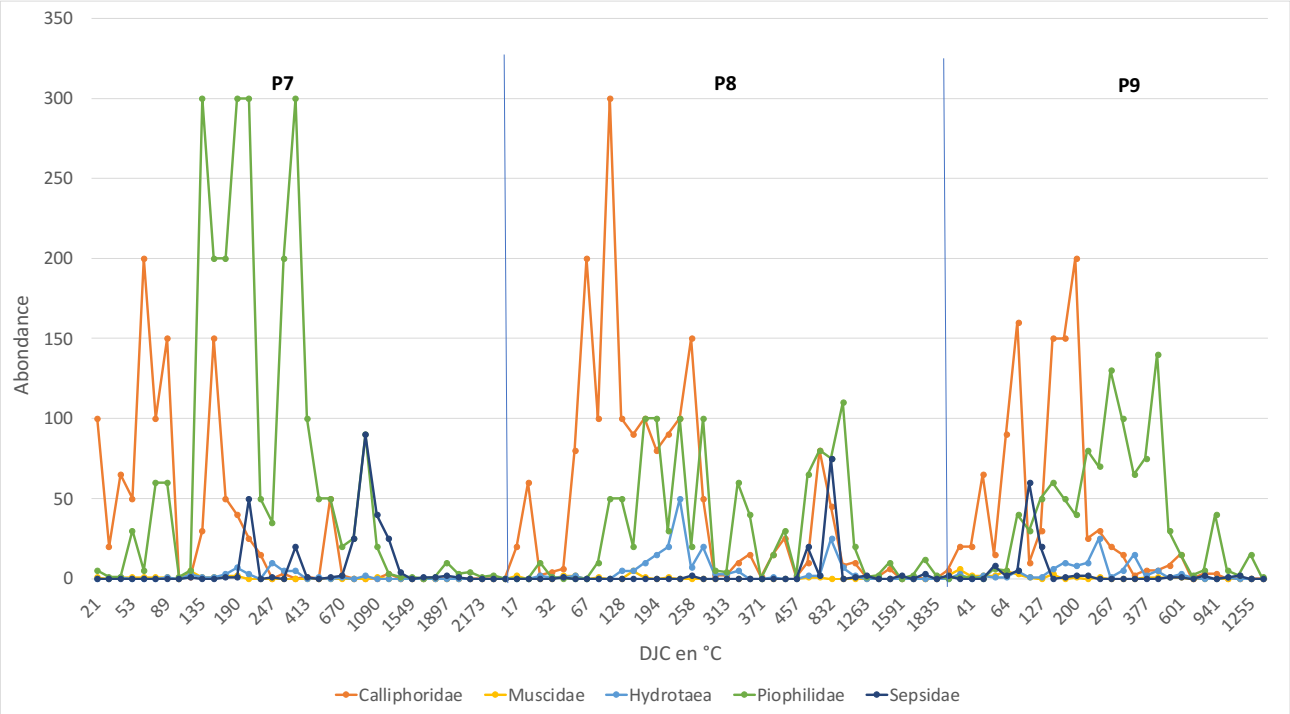


Figure 3-7 Abondance de quelques familles de diptères observées sur les donneurs humains en fonction des degrés-jours cumulés

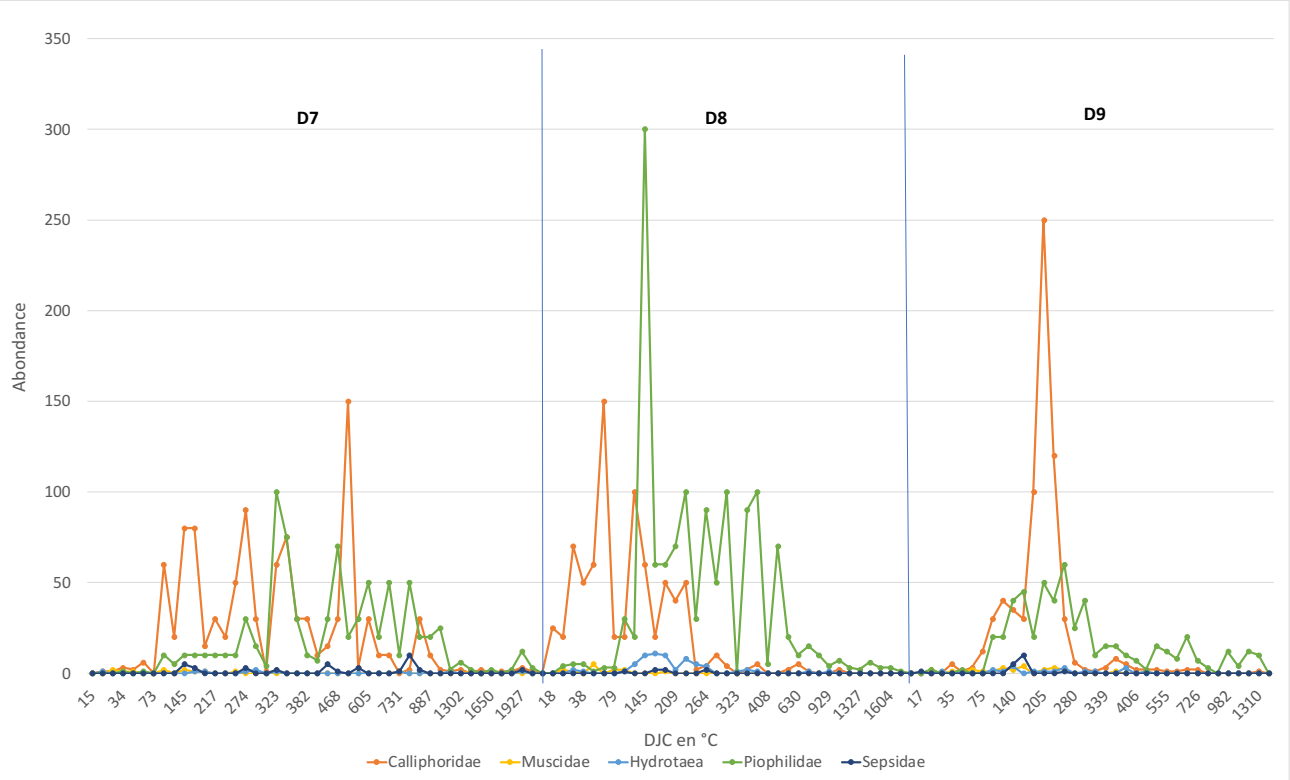


Figure 3-8 Abondance de quelques familles de diptères observées sur les carcasses de cochon en fonction des degrés-jours cumulés

4 DISCUSSION

Cette étude représente la première étude comparant la communauté des diptères d'intérêt forensique entre des donneurs humains et des carcasses de cochon réalisée au Canada. L'objectif de ce projet était d'étudier la structure et la dynamique des communautés de diptères associés à la décomposition de cadavres porcins et humains au Québec, durant la saison estivale. Nos résultats ont démontré que la décomposition entre les donneurs humains et les carcasses de cochon ne se déroulait pas exactement de la même manière. En effet, en général, les différents stades de décomposition étaient plus courts pour les carcasses de cochon et se produisaient donc plus tôt en termes de DJC. Fait intéressant, deux des trois donneurs humains ont atteint un stade de momification avec peu d'exposition osseuse, tandis que les carcasses de cochon ont atteint un stade de squelettisation. En général, les mêmes espèces de diptère étaient présentent sur les deux types de cadavre, cependant, la diversité, la vitesse de colonisation et l'abondance ont été plus importantes pour les carcasses de cochon.

4.1 DÉCOMPOSITION DES DONNEURS HUMAINS

Aucun des trois donneurs humains ne s'est complètement décomposés avant la fin de ce projet, ni n'a atteint le stade de squelettisation. Le donneur D8 est le donneur ayant atteint la décomposition la plus avancée en atteignant un stade de restes secs, alors que les corps des donneurs D7 et D9 se sont momifiés. Cette momification semble avoir ralentie considérablement la décomposition des tissus.

Le phénomène de momification observé sur nos donneurs humains a également été observé dans de nombreux endroits, tel que le Colorado (Connor et al. 2018), l'Italie (Marella et al. 2013 ; Bugelli et al. 2018), la France (Leccia et al. 2018) et l'Australie (Knobel et al. 2018 ; Dawson et al. 2020). La momification est généralement associée aux climats secs et chauds (Campobasso et al. 2001 ; Leccia et al. 2018). Cependant, d'autres facteurs

peuvent influencer ce processus. Par exemple, un environnement sec, froid et venteux peut aussi créer une momie (Leccia et al. 2018). La peau d'un corps exposée au vent et au soleil peut rapidement sécher, tel qu'observé dans l'étude de Bugelli et al. (2018), où un cadavre complètement suspendu (pendaison) se trouvait momifié, dans le nord-ouest de l'Italie. Un sol sablonneux peut également jouer un rôle dans la momification d'un corps (Leccia et al. 2018 ; Ribéreau-Gayon et al. 2023). En effet, les sols poreux, comme le sable, favoriserait l'absorption de l'eau par capillarité et favoriserait donc la momification (Aufderheide, 2003). Le site REST[ES] se trouve sur un sol sablonneux et limoneux (Pecsi et al. 2020), ce qui aurait donc pu exercer une influence sur la décomposition des cadavres, en favorisant la dessication plutôt que la décomposition. Cette hypothèse a également été soulevée dans l'article de Ribéreau-Gayon et al. (2023). Évidemment, d'autres facteurs auraient pu jouer un rôle dans la momification des donneurs humains dans notre étude, par exemple la prise de médication, un traitement médical, etc. Leccia et al. (2018) soulignent également dans leur article, que l'émaciation pourrait accélérer la momification. En revanche, aucun des donneurs de notre étude ne se trouvaient dans cette situation puisqu'ils se situaient tous en excès de poids, selon leur indice de masse corporelle (Santé Canada, 2019) (Tableau 2-1). La momification a également tendance à se produire plus facilement chez les personnes âgées (Marella et al. 2013), ce qui est le cas dans notre étude puisque nos trois donneurs étaient âgés entre 72 et 93 ans. Finalement, il serait intéressant d'étudier ce phénomène de momification en comparant différents types de morphologie chez les donneurs. Un autre facteur pouvant favoriser la momification plutôt que la décomposition est la faible activité entomologique. En effet, les larves, peu présentes sur le corps des donneurs n'ont pas consommé les tissus du corps, ceux-ci se sont donc desséchés. Payne (1965) en a fait la démonstration dans son étude en comparant la décomposition de carcasses de cochon accessibles et non accessibles aux insectes. Les carcasses non accessibles aux insectes se sont momifiées tandis que les autres ont atteint un stade de squelette.

Nos résultats concordent avec ceux de deux autres études réalisées antérieurement sur le site REST[ES]. En premier lieu, l'étude de Maisonhaute et Forbes (2023) a étudié deux donneurs humains entre le 10 août et le 27 octobre 2020. Comme dans notre étude, les deux donneurs humains se sont complètement momifiés avec un peu d'exposition osseuse, principalement au niveau du crâne. Dans leur cas, la momification complète s'est faite entre le jour 16 et 18. Le même phénomène de dessication a aussi été observé dans l'étude de Ribéreau-Gayon et al. (2023), réalisée également sur le site REST[ES], où six donneurs humains (dont les 3 donneurs de notre étude) ont été placés sur le site et suivis entre mai 2021 et mai 2022. Les six donneurs humains étudiés ont présenté un processus de décomposition semblable : autour du jour 21 (valeur médiane), ils se trouvaient au stade de momification, avec peu d'exposition osseuse. Nos résultats combinés à ceux des études de Maisonhaute et Forbes (2023) et de Ribéreau-Gayon et al. (2023) suggèrent que les donneurs humain, exposés aux conditions environnementales présentes sur le site REST[ES], subissent rapidement un processus de dessiccation (assèchement des tissus) ce qui mène à la momification.

Comparativement à d'autres résultats obtenus au Canada, les nôtres diffèrent sur certains points. L'étude de Cockle et Bell (2017) est une étude rétrospective regroupant de réelles enquêtes sur des décès survenus au Canada, principalement en Colombie-Britannique et en Ontario, qui a pour but d'étudier la décomposition. Dans leur étude, aucun des cadavres étudiés n'était complètement squelettisé en moins d'un an, comme pour notre étude. Comparativement à nos observations, la momification était un phénomène rare dans l'étude de Cockle et Bell (2017). Dans les rares cas où la momification était présente, elle se concentrait au niveau des bouts des doigts et du visage. Cette momification débutait en moyenne après 75 jours de décomposition en été et 58 jours en hiver (Cockle et Bell, 2017). Quelques facteurs pourraient expliquer ces différences, notamment, le climat qui est différent entre les deux sites d'étude. Selon la classification de Köppen-Geiger, notre site d'étude se trouve dans la zone Dfb (climat continental froid, sans période de sécheresse, et des étés chauds), tandis que la Colombie-Britannique comprend neuf types de climat différents (Peel et al. 2007). De plus, les cadavres de l'étude de Cockle

est Bell (2017) étaient également exposés aux animaux sauvages, comparativement aux nôtres qui se trouvaient dans un milieu contrôlé (cages grillagées). Les animaux charognards peuvent influencer la décomposition, en se nourrissant des tissus présents sur un cadavre (Séguin et al. 2022). En revanche, nos résultats sont semblables à ceux rapportés dans d'autres sites d'études à travers le monde. Dans l'étude de Dawson et al. (2020) réalisée en Australie, les donneurs humains ont atteint le stade de momification plutôt que le stade de squelette. Tout comme dans notre étude, les donneurs humains ont eu une décomposition moins rapide que celle des carcasses de cochon, autant dans leur expérience estivale qu'hivernale. Considérant le climat aride du Colorado, les donneurs humains, ont encore une fois, eu tendance à se momifier plutôt que d'atteindre le stade de squelette, dans l'étude de Connor et al. (2018)

Plusieurs facteurs ont fait en sorte qu'il a été ardu de quantifier et de décrire la décomposition. En premier lieu, les différentes parties du corps des donneurs n'atteignaient pas le même stade de décomposition au même moment. Par exemple, la tête pouvait se trouver au stade de squelette alors que l'abdomen était encore au stade actif, ce qui rendait la tâche de déterminer le stade de décomposition général plutôt complexe. En deuxième lieu, l'échelle élaborée par Megyesi et al. (2005) peut être intéressante pour donner une idée générale de la décomposition, cependant, les caractéristiques que présentaient nos donneurs, telles que la momification, ne faisaient pas partie de la grille d'observation. Il n'était donc pas utile pour quantifier la décomposition de nos donneurs. Ce fait a également été soulevé dans l'étude de Ribéreau-Gayon et al. (2023) et de Maisonhaute et Forbes (2023). En dernier lieu, la qualification et la quantification de la décomposition variaient selon les différents observateurs de cette étude. Cinq observateurs différents se sont relayés lors des différentes journées d'observation. Ce point démontre l'importance d'avoir des critères d'observation précis, basés sur des observations quantifiables et non subjectives. Ces critères doivent cependant être établis selon la région où ils seront appliqués, puisque le processus de décomposition ne suit pas la même trajectoire, partout dans le monde.

4.1.1 Variation interindividuelle

Tel que démontré, le processus de décomposition a été assez différent entre les trois donneurs humains, particulièrement entre les donneurs ayant atteint un stade de momification (D7 et D9) et D8, qui a davantage atteint un stade de restes secs. Plusieurs facteurs peuvent avoir influencé ce résultat, notamment la taille, le poids, la cause du décès, ou l'historique médical. Le donneur D7 a eu une décomposition plus courte que les deux autres donneurs : la peau s'est momifiée après environ 11 jours, ce qui a grandement ralenti la décomposition (ex. chair moins accessible pour les insectes). Une des hypothèses avancées pour expliquer ce phénomène serait que le donneur D7 aurait reçu des traitements de chimiothérapie ou de radiothérapie ou était sous une médication, en lien avec le cancer. Puisque la cause de son décès était un cancer métastatique du poumon et de la prostate, ses traitements auraient pu influencer la décomposition des tissus. Cette hypothèse serait en accord avec les observations d'Hayman et Oxenham (2016) qui ont noté que la prise de médicaments cytotoxiques, utilisés dans les traitements contre le cancer et la prise d'antibiotiques ont eu un impact sur la décomposition, en ralentissant celle-ci.

4.2 Décomposition des carcasses de cochon

Tel que mentionné précédemment, les trois carcasses de cochon se sont décomposées de façon similaire. Elles ont toutes atteint le stade de squelette dans des délais semblables. La décomposition plus uniforme des trois carcasses de cochon (en comparaison de la décomposition humaine) peut être expliquée, en partie, par le fait que celles-ci avaient très peu de facteurs intrinsèques pouvant affecter la décomposition : Les trois cochons étaient destinés à la consommation humaine, donc nous pouvons supposer qu'ils ont été élevés dans des conditions similaires, le poids était également comparable,

la méthode d'abattage était la même pour les trois cochons, et les périodes de réfrigération étaient similaires.

Les carcasses de cochon utilisées dans notre étude semblent avoir eu une décomposition typique, soit de passer du stade frais au stade de squelette, sans passer par un long stade de momification. Cette décomposition reflétait assez fidèlement les étapes de décomposition décrites dans l'échelle élaborée par Keough et al. (2017), excepté pour la quantité importante de liquide de décomposition qui était présente sur nos carcasses, lors du stade actif. En général, la décomposition de nos trois carcasses de cochon est assez similaire à ce qui a été observé dans certaines études antérieures (Payne, 1965 ; Anderson et VanLaerhoven, 1996 ; Knobel et al. 2018). Par exemple, les trois cochons de l'étude de Maisonhaute et Forbes (2020) ont présenté une décomposition semblable à la nôtre en atteignant les stades de décomposition environ en même temps que les nôtres. Cette étude a été réalisée dans un climat très comparable à notre site d'étude, puisque les deux sites se situent à une vingtaine de kilomètres.

4.3 Comparaison de la décomposition

En général, dans notre étude, la décomposition entre les deux types de cadavre a été assez différente, notamment à partir du stade de décomposition active. En effet, les carcasses de cochon ont atteint ce stade plus rapidement que les donneurs humains. Le stade actif a débuté en moyenne à 56 DJC (jour 2) et a pris fin vers 252 DJC (jour 10) pour les carcasses de cochon et de 114 à 273 DJC pour les donneurs humains (en moyenne, du jour 5 au jour 12). Ce phénomène a pu être observé dans l'étude de Dawson et al. (2020) effectuée en Australie. En effet, ils ont également constaté que les carcasses de cochon s'étaient décomposées plus rapidement en atteignant le stade de décomposition active avant les donneurs humains. Le même résultat a été obtenu dans l'étude de Knobel et al.

(2018). Par exemple, lors de cette étude également réalisée sur le site de AFTER en Australie, lors de l'étude estival, les donneurs humains ont atteint le stade actif entre le jour 14 et 21, tandis que pour les carcasses de cochon, ce stade fut observé entre le jour 6 et 8. Dans l'étude de Connor et al. (2018), la vitesse de décomposition a également été différente entre les deux types de cadavres. Effectivement, les donneurs humains et les carcasses de cochon n'ont pas atteint le même résultat de TBS au même DJC. Par exemple, il aura fallu, en moyenne, 594 DJC aux donneurs humains pour atteindre un résultat de TBS de 20 comparativement à 994 pour les carcasses de cochon.

En ce qui concerne les différentes parties du corps, la tête est la partie du corps ayant eu la décomposition la plus rapide autant chez les donneurs humains que chez les carcasses de cochon. Ce phénomène peut être expliqué par le fait que les orifices naturels présents au niveau du visage (narines, bouche, yeux) sont souvent les premiers lieux de la colonisation par les diptères. Les larves de diptère s'y retrouvent donc en plus grande quantité que sur d'autres parties du corps comme l'abdomen, par exemple, qui a été la partie prenant le plus de temps à se décomposer chez tous les cadavres. En revanche, les larves de diptère se sont dispersées davantage sur les carcasses de cochon consommant ainsi les tissus sur tout le corps, ce qui a favorisé leur décomposition.

Une autre différence importante entre les deux types de cadavre a été au niveau du stade actif. Les carcasses de cochon présentaient une quantité importante de liquide mousseux tout autour d'elles, alors que très peu de liquide était présent autour des donneurs humains, ce liquide mousseux étant limité aux parties génitales des donneurs. Ce phénomène pourrait être attribué au fait que les carcasses de cochon ont atteint un stade gonflé plus important que les donneurs humains. Il y avait donc une quantité de gaz accumulé plus importante chez les carcasses. Les gaz combinés à l'activité entomologique élevée auraient pu favoriser cette substance mousseuse. Il existe peu de mention de cette liquéfaction dans les articles consultés. Sharanowski et al. (2008) ont également noté cette liquéfaction mousseuse importante dans leur étude.

Pour évaluer la décomposition des carcasses de cochon, l'outil élaboré par Keough et al. (2017) a été utilisé. Cette échelle a été élaborée en Afrique du Sud, sur la ferme expérimentale Miertjie le Roux de l'Université de Proteria. Malgré les différences liées à l'environnement et au climat entre l'étude de Keough et al. (2017) et la nôtre, l'outil s'est révélé assez efficace pour quantifier et qualifier les stades de décomposition. Ceci peut être dû au fait que les carcasses de cochon ont présenté une décomposition plus typique, en passant du stade frais au stade de squelette. En comparaison, l'outil de Magyesi et al. (2005) développé pour quantifier la décomposition des donneurs humains s'est révélé inefficace dans notre climat. En effet, l'outil mentionné précédemment, ne prend pas en considération la dessication de la peau qui est survenue rapidement dans notre cas, dans les critères de décomposition des divers stades. Comme nos donneurs humains ont présenté une décomposition atypique considérant le type de climat du Québec (en se momifiant avec très peu d'exposition osseuse, plutôt qu'en se décomposant entièrement), il a été très ardu de déterminer les stades de décomposition. Ces observations démontrent donc que les donneurs humains et les carcasses de cochon ne suivent pas le même processus de décomposition malgré qu'ils aient été exposés aux mêmes conditions environnementales.

Un facteur supplémentaire expliquant la différence au niveau de la décomposition entre les deux types de cadavre est l'abondance entomologique différente. Les masses d'œufs ont été pondues principalement au niveau de la tête et des parties génitales pour les donneurs humains. Quelques masses ont également été observées sous les aisselles, le flanc ou les membres de certains donneurs, mais en petite quantité. Au contraire, les masses d'œufs pondues sur les carcasses de cochon étaient plus grosses et se situaient au niveau de la tête principalement (oreilles, bouche, menton, nez, etc.) mais également entre les pattes, à la jonction entre la carcasse et le sol, dans le dos, sur l'anus, etc. La plus faible activité entomologique observée sur les donneurs humains peut avoir favorisé la dessication des tissus, tel que décrit par Dawson et al. (2020). En effet, une fois éclos, les larves de diptère et les coléoptères se concentraient davantage au niveau de la tête et de l'entre-jambe chez les donneurs humains. Ces régions sont celles présentant les

stades de décomposition les plus avancés, tandis que le reste du corps, peu fréquenté par les larves, s'est momifié. La dessication des tissus peut également gêner la colonisation des diptères (Bugelli et al. 2018 ; Campobasso et al. 2001), ce qui empêche les larves de décomposer le corps. Chez les carcasses de cochon, les masses de larves ont également débuté au niveau de la tête principalement mais se sont dispersées davantage, ce qui favorise la décomposition. Dawson et al. (2020) explique ce phénomène par la morphologie différente des deux types de cadavres et leur positionnement différent sur le site d'étude (carcasses sur le côté vs humains sur le dos), ce qui est également le cas dans notre étude. Également, un grand nombre de larves va décomposer un corps plus rapidement que quelques larves (Byrd et Castner, 2001).

Enfin, il convient de noter que les trois carcasses de cochon présentaient une blessure au front dû à la méthode d'abattage, ce qui a pu favoriser la colonisation par les diptères nécrophages et ainsi accélérer la décomposition au niveau de la tête. Tel que mentionné plus tôt, la carcasse P9 présentait également une blessure sur la fesse gauche qui a rapidement été colonisée par les diptères. Cette blessure pourrait expliquer, en partie, que P9 ait eu la décomposition la plus rapide selon les journées de décomposition. La même chose s'est produite avec le donneur D8, la jambe gauche de ce dernier s'étant momifiée plus rapidement que le reste du corps, en raison de la blessure présente lors de son arrivée sur le site. En effet, nous avons appris que le donneur avait fait une thrombose veineuse à la jambe gauche, ante mortem. Tout comme le donneur D2 de l'étude de Maisonhaute et Forbes (2023), nous avons pu remarquer que les blessures ante mortem favorisent la colonisation par les diptères nécrophages et donc accélèrent la décomposition de la zone touchée, ce qui est en accord avec de précédentes observations (Mann et al. 1990). En présence d'une blessure sur un corps, il est important de déterminer si celle-ci est ante ou post mortem. En effet, une blessure ante mortem peut avoir été colonisée par des larves de diptères alors que l'individu était toujours vivant et ainsi affecter le calcul de l'IPM. Ces informations peuvent toutefois être intéressantes en entomologie forensique, par exemple, pour déterminer si une victime aurait pu souffrir de négligence ou être maltraitée avant sa mort (Benecke et Lessig, 2001).

4.4 DIPTÈRES RETROUVÉS SUR LES CADAVRES

4.4.1 GÉNÉRAL

En général, les mêmes espèces et familles d'intérêt forensique ont été observées sur les deux types de cadavre. Cependant, les carcasses de cochon ont eu une plus grande diversité de diptères dans l'ensemble. Des 34 espèces/familles identifiées au cours de cette étude, 25 étaient communes aux deux types de cadavres, 26 ont été présentes sur les donneurs humains et 33 sur les carcasses de cochon. Huit de celles-ci étaient présentes seulement sur les carcasses de cochon, alors qu'une seule famille a été observée uniquement sur les donneurs humains. Dix espèces de Calliphoridae ont été observées durant ce projet sur les carcasses de cochon et six sur les donneurs humains. Les espèces les plus observées sur les deux types de cadavre ont été *L. illustris* et *P. regina* (Calliphoridae) et *S. nigriceps* (Piophilidae). Il s'agit d'espèces fréquemment mentionnées dans les études sur l'entomologie forensique.

Phormia regina est l'espèce ayant été récoltée en plus grande quantité lors de ce projet, sur les deux types de cadavre. Il s'agit d'une espèce très commune en Amérique du Nord (Byrd et Allen, 2001 ; Jones et al. 2019 ; Nabity et al. 2006) et se trouve dans les espèces les plus étudiées au niveau de l'IPM (Nabity et al. 2006 ; Byrd et Allen, 2001). Ces diptères sont présents autant dans les milieux ruraux qu'urbains (Langer et al. 2019) et sont principalement actifs durant l'été (Langer et al. 2019 ; Owings et al. 2023). Il n'est donc pas surprenant que cette espèce ait été autant présente dans notre projet. Cette espèce est normalement présente assez tôt dans le processus de décomposition (Charabidze, 2012 ; Maisonhaute et Forbes 2020 ; Hildebrand et al. 2022 ; Anderson et al. 2002), ce qui est en accord avec nos résultats. Elle fait effectivement partie des premières espèces à avoir visité et colonisé les carcasses de cochon de notre étude, dès la première journée d'échantillonnage (jour 0). *Phormia regina* a également colonisé, dans les premiers jours de décomposition, les donneurs humains, alors que ceux-ci se trouvaient au stade frais. Cette espèce peut également être observée durant les stades plus avancés de la

décomposition (Maisonhaute et Forbes, 2020 ; Hildebrand et al. 2022 ; Sharanowski et al. 2008), ce qui a été le cas dans notre projet, puisqu'elle a été récoltée jusqu'au stade de restes secs sur les carcasses de cochon. Ces observations plus tardives pourraient s'agir d'une deuxième génération d'individus, puisque la migration pour la pupaison dans le sol avait déjà eu lieu plusieurs jours auparavant. Cette espèce a également été observée durant le stade avancé sur les donneurs humains de notre étude. Comme cette espèce de diptère arrive rapidement sur les deux types de cadavre, il s'agit d'une espèce d'intérêt pour la détermination de l'IPM à l'aide des DJC. Or, *P. regina* ne semble pas pouvoir servir à estimer l'IPM à l'aide de la succession des espèces, puisque celle-ci a été présente durant une longue période, sur les deux types de cadavres. Il s'agit cependant d'une espèce utile pour déterminer l'IPM grâce à l'étude du développement larvaire.

L'espèce *L. illustris* a été présente sur tous les cadavres de cette étude, de manière assez importante en termes de fréquence et d'abondance. Il s'agit d'une espèce communément présente en Amérique du Nord, associée aux températures plus chaudes et donc très présente durant l'été (Byrd et Castner 2001 ; Zabala et al. 2014), ce qui explique bien sa présence en grand nombre dans notre étude. Selon la littérature, cette espèce est connue pour coloniser les cadavres en début de décomposition (Byrd et Castner, 2001 ; Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Michaud et Moreau, 2009). Nos résultats concordent avec ces observations. En effet, les premiers œufs récoltés sur tous les cadavres provenaient, entre autres, de l'espèce *L. illustris*. Cette espèce a été présente sur les deux types de cadavre du stade frais jusqu'au stade actif. La seule exception est au niveau de D7, où *L. illustris* était toujours présent sous forme de larve alors que le corps se trouvait au stade de momification (jour 26). Une hypothèse à ce phénomène serait que, comme D7 s'est presque entièrement momifié en surface, sa décomposition a été retardée considérablement. Effectivement, Il restait encore beaucoup de tissus sous la peau séchée, qui n'avaient pas encore eu l'occasion de se décomposer. Ceci aurait pu prolonger la présence des mouches ou le développement des larves qui pouvaient accéder aux tissus sous la peau grâce aux orifices naturels et aux perforations effectuées à l'aide d'aiguilles de biopsie dans le cadre d'un autre projet utilisant ce même donneur. La partie

du corps en contact directement avec le sol (haut et bas du dos, fesses et arrière des épaules) n'était pas momifiée mais ne semblait pas attirer les diptères.

Une autre espèce ayant été observée abondamment est *S. nigriceps*, faisant partie de la famille des Piophilidae. Selon Byrd et Castner (2001) cette famille se trouve dans une grande variété d'habitats, tels que sur des carcasses, des os, de la peau et de la fourrure. La présence de cette famille est surtout associée au stade de décomposition avancée, bien que la présence d'adultes soit fréquemment observée dans les premiers jours de décomposition (Martin-Vega, 2011 ; Tabor et al. 2004 ; Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Anderson et VanLaerhoven, 1996). En effet, dans notre étude, les premiers adultes de *S. nigriceps* ont été aperçus dans les premiers jours de décomposition, alors que les cadavres se trouvaient au stade frais ou au début du stade actif. Bien qu'il y eût présence d'adultes, il n'y avait aucun signe de colonisation des cadavres avant le stade de décomposition avancée ou sur au moins une partie du corps qui se trouvait à ce stade (ex. le crâne exposé des carcasses de cochon). Les larves et les adultes de cette espèces ont été présents jusqu'au stade de restes secs, pour les deux types de cadavre. Nos observations concordent donc avec d'autres études faites au Québec (Maisonhaute et Forbes 2020 et 2023), où les adultes de *S. nigriceps* ont été aperçus tôt dans le processus de décomposition et où la présence de spécimens immatures a eu lieu lors des stades plus avancés de décomposition. Cette espèce pourrait donc s'avérer être un bon indicateur du stade de décomposition, principalement grâce aux œufs et aux larves.

La majorité des diptères de l'espèce *P. terraenovae* a été récoltée sur la première paire de cadavre composée de D7 et de P7. Un élément pourrait expliquer que cette espèce était davantage présente sur les deux premiers cadavres de cette étude est qu'on retrouve *P. terraenovae* au printemps et au début de l'été, car cette espèce est adaptée aux températures plus fraiches (Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Langer et al. 2019 ; Hildebrand et al. 2022), et les cadavres D7 et P7 ont été placés sur le site au début de l'été, en juin (température moyenne en juin de 18,8 °C, avec variation de 14 °C à 24,8 °C). La majorité des diptères de cette famille a été collectée entre le mois de juin et la mi-

juillet (seulement deux observations en début août). Maisonhaute et Forbes (2023) ont souligné l'hypothèse, dans leur étude, que *P. terraenovae* aurait une préférence pour les carcasses de cochon par rapport aux donneurs humains puisqu'aucun spécimen de cette espèce n'avait été observé sur les donneurs humains alors que cette espèce était une des plus abondante lors de leur étude sur les carcasses de cochon (2020). Nos résultats semblent confirmer, en partie, cette affirmation puisqu'il y a eu une abondance plus importante de *P. terraenovae* sur les carcasses de cochon que sur les cadavres humains.

Des spécimens de *C. vomitoria* ont été observés sur les deux types de carcasse mais en très faible quantité. En fait, seul P7 et D7 ont été colonisés par cette espèce. *Calliphora vomitoria* préfère les milieux ruraux et ombragés (Langer et al. 2019 ; Byrd et Castner, 2001). Selon Langer et al. (2019), le milieu rural de leur étude regroupait les territoires agricoles, semi-ruraux et sauvages, ce qui correspond à l'environnement de notre site d'étude, qui se situe en milieu forestier. Cette espèce aurait donc dû être plus présente. Il est cependant important de mentionner que le site était exposé directement au soleil plusieurs heures par jour. Il est possible que seulement quelques individus de *C. vomitaria* aient réussi à atteindre le stade adulte dans nos élevages, à cause de la compétition interspécifique (possibilité qu'il y ait eu plusieurs espèces dans le même pot d'élevage). Bien que cette espèce ait été retrouvée sur le site REST[ES] et les environs dans quelques études, peu de spécimens ont été récoltés. C'est le cas dans l'étude de Maisonhaute et Forbes (2023) sur les donneurs humains où seulement une observation au stade larvaire a été effectuée, alors que les donneurs se trouvaient au stade de momification, à l'automne. Dans l'étude de Sharanowski et al. (2008) en Saskatchewan, cette espèce a pu être observée sur les carcasses de cochon à l'automne, mais était décrite comme une espèce rare. Ces résultats sont donc semblables à ceux obtenus lors de ce projet puisque la seule observation de *C. vomitoria* sur les donneurs humains a eu lieu alors que D7 était au stade de momification, durant l'automne. Nos résultats sont également similaires à ceux de l'étude sur les carcasses de cochon, toujours de Maisonhaute et Forbes (2020). Dans les deux cas, uniquement une des trois carcasses de cochon a été colonisée par *C. vomitoria* au mois de juin, alors que la carcasse était dans les premiers jours de

décomposition. Cette espèce est parfois associée aux températures plus fraiches, principalement active au printemps et à l'automne (Schroeder et al. 2003 ; Hildebrand et al. 2022). Ceci pourrait donc, en partie expliquer pourquoi l'espèce a peu été observée, puisque les études de Maisonhaute et Forbes, ainsi que la nôtre se déroulaient durant l'été ainsi que dans le même environnement.

Calliphora livida a été récoltée majoritairement sur D9 et à une occasion sur D7, P7 et P8. Cette espèce a été collectée uniquement au stade d'œuf et de larve. Les observations de cette espèce ont été faites alors que les différents cadavres se trouvaient au stade frais (entre le jour 0 et le jour 4). Cette espèce répandue en Amérique du Nord, présente dans plusieurs provinces canadiennes (Langer et al. 2019), est principalement active lors du début du printemps et à la fin de l'automne (Marshall et al. 2011). Dans notre étude, cette espèce a été observée du début du mois de juin jusqu'au début du mois d'août. Sa présence semble être associée aux premiers stades de la décomposition. En effet, tel que mentionné, cette espèce a colonisé les différents cadavres lors du stade frais uniquement, dans notre étude. Dans l'étude de Maisonhaute et Forbes (2020), *C. livida* a été observée sur les carcasses de cochon du stade frais jusqu'au stade gonflé (jour 0 à jour 5). Un scénario presque identique a eu lieu lors de l'étude de Maisonhaute et Forbes (2023), où cette espèce a colonisé les donneurs humains entre le jour 1 et jour 6 de leur étude. Cette espèce aurait donc un intérêt dans la détermination de l'IPM, selon la succession des insectes, puisque que celle-ci est présente seulement durant une courte période, au début de la décomposition.

D'autres familles et espèce ont également été aperçues fréquemment. C'est le cas des diptères de la famille des Muscidae, principalement du genre *Hydrotaea*. Cette famille est très répandue, partout dans le monde. Elle est présente dans différents types d'habitat et vit souvent en interaction avec l'humain (Byrd et Castner, 2001). Ces diptères ont été vus sur tous les cadavres de cette étude durant tous les stades de décomposition (œufs et larves de cette famille aperçus sur les deux types de cadavre du stade actif au stade sec /momification). Selon Byrd et Castner (2001), cette famille aurait tendance à arriver sur

les cadavres après la famille des Calliphoridae et des Sarcophagidae. Cependant, nous avons pu constater, dans cette étude, que la famille des Muscidae était présente au même moment que les Calliphoridae, dès la journée du dépôt de tous les cadavres. Le genre *Hydrotaea* pourrait avoir un certain intérêt au niveau de l'entomologie forensique. En effet, les œufs et les larves de ces diptères pourraient être utilisés pour calculer l'IPM à l'aide du cycle de développement des diptères.

La famille des Sepsidae a été observée sur les deux types de cadavre mais avec des différences. Par exemple, ces diptères ont été observés moins abondamment sur les donneurs humains comparativement aux carcasses de cochon. Dans l'étude de Maisonhaute et Forbes (2023), cette famille a été présente tout au long de leur étude sur les donneurs humains (du jour 2 au jour 70). Ces résultats diffèrent des nôtres. En effet, la plus longue présence de cette famille a été au niveau de D7, où les observations ont eu lieu entre le stade actif (jour 6) et le stade de momification (jour 43). Pour D9, cette famille a été présente sur une courte période de 4 jours durant le stade actif (jour 6 à 10). Cette famille semble davantage présente sur les cadavres au stade adulte (Maisonhaute et Forbes, 2020 et 2023 ; Arcand, 2023). Dans notre étude une seule larve a été collectée sur un des cadavres (P7). De plus, cette famille semble être commune sur les carcasses de cochon, durant plusieurs stades de décomposition, par exemple au Québec (Maisonhaute et Forbes, 2020 ; Arcand, 2023), en Nouvelle-Écosse (Simpson et Strongman, 2002) et en Virginie (Tabor et al. 2004). Ceci est en accord avec nos résultats, cette famille a été présente durant tous les stades de décomposition de nos carcasses de cochon. Tel que mentionné par Simpson et Strongman (2002), la famille des Sepsidae est « toujours présente sur les carcasses, mais peu d'attention lui est accordée ». Il existe donc peu de mentions et d'informations sur ces diptères dans les études sur l'entomologie forensique. Selon Byrd et Castner (2001), les larves de Sepsidae se développeraient dans différentes matières en décomposition tel que des carcasses et des excréments et le genre *Sepsis* serait surtout présent lors du stade de décomposition avancée. Il est difficile de confirmer ces observations puisque ces diptères ont uniquement été identifiés à la famille. La famille des Sepsidae pourrait présenter une préférence pour les carcasses de cochon, selon ce

que nos résultats démontrent. Aucune donnée sur le sujet n'a été trouvée pour confirmer ou non cette observation. Étant donné que ces diptères ont été présents durant une longue période sur les cadavres, ils ne sont pas nécessairement intéressant pour déterminer l'IPM, en utilisant la méthode de succession.

Des diptères de l'espèce *Dryomyza anilis* (Dryomizidae) ont été identifiés sur D7 et D8, alors que ceux-ci se trouvaient au stade de momification/avancé. Il s'agit d'une espèce sapro-nécrophage (Lefebvre et Gaudry, 2009 ; Barnes, 1984) vivant dans les régions paléarctique et néarctique (Barnes, 1984). Les larves de cette espèce peuvent se nourrir de différentes matières en décomposition (insectes, vertébrés, champignons). Les œufs peuvent également se développer sur des excréments (Barnes, 1984). Bien qu'elle soit associée avec des matières en décomposition, il existe très peu de mention de cette espèce dans la littérature, notamment en entomologie forensique. Dans notre étude, elle a été observée à trois reprises, lors du stade de restes secs sur la carcasse de cochon P8. Cette famille a été observée à quelques reprises sur les donneurs humains de l'étude de Maisonhaute et Forbes (2023), entre le jour 44 et le jour 70, tandis qu'aucune mention de cette espèce n'a été faite dans leur étude sur les carcasses de cochon (2020). Cette espèce ne semble donc pas avoir un réel intérêt forensique.

4.4.2 Diptères retrouvés uniquement sur les donneurs humains

La seule famille identifiée uniquement sur les donneurs humains est celle des Polleniiadae. Plusieurs spécimens ont été capturés à l'aide d'un filet entomologique sur les trois donneurs humains. Des adultes de cette famille sont parfois observés sur des carcasses en décomposition (De Jong et al. 2021) ou autres matières en décomposition. Cette famille est présente au Canada, notamment en Colombie-Britannique, en Alberta, en Saskatchewan, en Ontario, au Nouveau-Brunswick, etc. (Vezsenyi et al. 2022). Cependant il ne s'agit pas d'une espèce exclusivement nécrophage, d'où sa collecte uniquement au filet entomologique (pas d'oviposition sur cadavres). Les larves sont des

parasites de vers de terre (De Jong et al. 2021 ; Vezsenyi et al. 2022 ; Cerretti et al. 2019) tandis que les adultes se nourrissent principalement de nectar, de l'exsudat de plante, des excréments et parfois sur des charognes (Vezsenyi et al. 2022). Cette espèce ne semble donc pas pertinente en entomologie forensique.

4.4.3 Diptères retrouvés uniquement sur les carcasses de cochon

Dans l'ensemble de ce projet, 33 familles et espèces ont pu être identifiées sur les trois carcasses de cochon. La diversité a été la plus importante lors du stade de décomposition active, où 21 familles/espèces ont été identifiées. Le stade de restes secs a vu la plus faible diversité de diptères avec 13 famille/espèces différentes.

Des huit familles et espèces retrouvées uniquement sur les carcasses de cochon, quatre font parties de la famille des Calliphoridae. Une de ces espèces est *L. coeruleiviridis* (un seul diptère émergé de nos élevages). Il s'agit d'une espèce retrouvée dans l'Est de l'Amérique du Nord (Marshall et al. 2011 ; Jones et al. 2019). Cette espèce ne semble pas avoir été observée souvent lors d'études menées au Québec (aucune observation lors des études de Maisonhaute et Forbes (2020 et 2023), ni celle d'Arcand (2023). Or, elle a été observée en Ontario (Langer et al. 2019 ; Marshall et al. 2011 ; Hildebrand et al. 2022) et au Nouveau-Brunswick (Marshall et al. 2011), qui sont les provinces voisines du Québec. Cette espèce a été identifiée uniquement sur les carcasses de cochon lors de l'étude de Hildebrand et al. (2022) tel qu'observé dans notre cas. Dans notre étude, *L. coeruleiviridis* a été récolté alors que la carcasse de cochon se trouvait à la fin du stade frais. Il semble que cette espèce préfère le stade frais et le stade gonflé pour coloniser les carcasses (Hildebrand et al. 2022 ; Benbow et al. 2013 ; Watson et Carlton, 2005). Cette espèce pourrait éventuellement s'avérer utile dans l'évaluation de l'IPM à l'aide de la succession des espèces, si elle devient plus commune dans notre région.

Une autre espèce retrouvée seulement sur les cochons est *L. sericata* (Calliphoridae). Ici encore, un seul individu a été récolté sur P9, au stade d'œuf. Il s'agit d'une espèce synanthrope, c'est-à-dire qu'elle vit en association/à proximité des humains, très commune en Amérique du Nord (Jones et al. 2019 ; Marshall et al. 2011). *Lucilia sericata* est notamment connue pour coloniser des troupeaux d'animaux tels que les moutons et y causer des myiases (Curwen et al. 2023 ; Alhayali et Mohammed, 2021 ; Pezzi et al. 2020). Les larves de cette espèce sont également utilisées dans le traitement de plaies afin d'aider au débridement des tissus nécrosés (Byrd et Castner, 2001 ; Bazaliński et al. 2019 ; Nezakati et al. 2020). Cette espèce est également connue pour coloniser les cadavres en début de décomposition, principalement dans les milieux ouverts et ensoleillés (Byrd et Castner, 2001 ; Matuszewski et al. 2013). Il est possible que cette espèce n'ait pas été observée, outre l'unique spécimen recueilli, puisqu'elle vit principalement en milieu urbain (Simpson et Strongman, 2002 ; Byrd et Castner, 2001 ; Langer et al. 2019 ; Maisonhaute et Forbes, 2020) et que notre étude a eu lieu dans un milieu forestier. Selon les quelques études réalisées au Québec, *L. sericata* ne semble pas commune sur des cadavres en décomposition, puisque aucun diptère de cette espèce a été observé sur les donneurs humains de l'étude de Maisonhaute et Forbes (2023) qui s'est déroulée sur le site de notre étude, ni sur les carcasses de cochon de leur étude de 2020. En revanche, cette espèce a été observé dans les autres province canadiennes comme l'Alberta (Langer et al. 2019 ; Anderson et al. 2002), la Saskatchewan (Sharanowski et al. 2008 ; Langer et al. 2019) et le Nouveau-Brunswick (Lutz et al. 2019 ; Langer et al. 2019). Dans l'étude de Hildebrand et al. (2022), qui se déroulait au Minnesota et dans le Upper Midwest Américain, *L. sericata* faisait partie des espèces ayant été récoltées fréquemment sur les carcasses de cochon. Cette espèce a également été vue sur les cadavres humains de leur étude.

Une autre espèce observée uniquement sur une des carcasses de cochon est *L. silvarum* (Calliphoridae, un individu recueilli au stade larvaire). Il s'agit d'une espèce répandue en Amérique du Nord, plus spécifiquement dans le sud du Canada et le Nord des États-Unis (Marshall et al. 2011). Cette espèce est principalement connue pour parasiter les

amphibiens (Jones et al. 2019 ; Marshall et al. 2011) mais profite parfois de la présence d'une carcasse pour y déposer ses œufs (Marshall et al 2011). Selon quelques études, *L. silvarum* est souvent observée mais ne semble pas être le principal colonisateur des cadavres, il s'agit plutôt de visites sporadiques (Sharanowski et al. 2008 ; Hildebrand et al. 2022 ; Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Langer et al. 2019). Dans notre étude, cette espèce n'a pas été observée sur les donneurs humains. En revanche, elle a été aperçue à quelques reprises dans l'étude de Maisonhaute et Forbes (2023) qui a eu lieu sur le même site d'étude que nous.

La dernière espèce retrouvée uniquement sur les carcasses de cochon est *C. cadaverina* (Calliphoridae). Quelques spécimens de cette espèce ont été récoltés au stade d'œufs et de larves sur P8, uniquement. *Cynomya cadaverina* est généralement décrite comme étant une espèce associée aux températures plus fraiches et est active surtout durant l'automne et le printemps (Byrd et Castner, 2001 ; Hildebrand et al. 2022). Étant donné que notre étude s'est déroulée principalement durant l'été, il est curieux d'avoir observé cette espèce uniquement au mois de juillet, alors que la température moyenne était de 18,7 °C. Cependant, la température quotidienne moyenne lors de ces observations était de 15,1 °C et de 17 °C, ce qui est inférieur à la moyenne mensuelle, ce qui pourrait expliquer nos observations. Selon une partie de la littérature, les adultes ne seraient pas attirés par les cadavres au stade frais et les larves seraient présentes surtout au stade avancé (Byrd et Castner, 2001 ; Marshall et al. 2011 ; Jones et al. 2019). Toutefois, nos résultats ne concordent pas avec ces affirmations. En effet, *C. cadaverina* a été récolté sur P8 alors que la carcasse se trouvait au stade frais. L'étude de Sharanowski et al. (2008), semble également prouver le contraire, puisque *C. cadaverina* faisait partie des premières espèces de diptère à avoir coloniser les carcasses de cochon, lors de leur étude printanière. Il est important de mentionner que cette espèce a été observée sur des donneurs humains présents sur le site REST[ES] durant l'automne 2021, mais ceux-ci ne faisaient pas partie de notre étude. Dans l'étude de Hildebrand et al. (2022), cette espèce a également été observée uniquement sur les carcasses de cochon. Cette espèce n'a pas été observée dans les études de Maisonhaute et Forbes (2020 et 2023), autant sur les

carcasses de cochon que sur les donneurs humains. Cependant, des individus au stade larvaire ont été récoltés sur des donneurs humains au printemps 2021 sur le site REST[ES] et sur des carcasses de cochon au printemps 2020, en milieu forestier, à proximité de l'Université du Québec à Trois-Rivières dans le cadre de l'étude de Arcand (2023).

Pour le moment, ces espèces ne peuvent pas être utilisées pour estimer l'IPM à partir de la succession des espèces, puisque très peu de spécimens ont été récoltés. Il serait donc important de refaire des études, principalement sur les donneurs humains dans un premier temps, pour s'assurer que ces espèces peuvent également coloniser ce type de cadavre, et dans un deuxième temps, pour connaitre leurs habitudes de colonisation.

4.4.4 Absence de diptères

Tel que mentionné par Sharanowski et al. (2008) et Hildebrand et al. (2022), la compétition interspécifique aurait pu exercer une influence sur la capacité d'une espèce de diptère à coloniser ou à survivre sur un cadavre. Par exemple, les larves de certaines espèces de Muscidae sont reconnues pour prédater les larves d'autres espèces de diptère (Byrd et Castner, 2001). Une autre hypothèse serait que la compétition interspécifique serait défavorable pour certaines espèces. Dans leur étude, MacInnis et Higley (2020) ont démontré que les larves de *P. regina* serait de meilleurs compétiteurs que *L. sericata* lorsque ces deux espèces entre en compétition pour la même ressource. Ceci pourrait donc expliquer, en partie, la faible présence de certaines espèces plus fréquemment observées dans d'autres études, comme *L. sericata* et la famille des Sarcophagidae.

Certains diptères observés fréquemment sur les cadavres humains ou d'animaux en décomposition ont été très peu présents lors de ce projet, par exemple *L. sericata* tel que mentionné plus tôt. Un autre exemple sont les diptères de la famille des Sarcophagidae. Ceux-ci pondent directement des larves de stade 1 sur les cadavres autant lors du stade frais qu'aux stades plus avancés de décomposition (Byrd et Castner, 2001). D'autres études indiquent que cette espèce coloniserait les cadavres principalement en début de

décomposition (Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Anderson et al. 2002). Quelques adultes ont pu être observés au-dessus des carcasses de cochon et des donneurs humains mais aucune larve ni adulte ont été récoltés, lors de notre projet. Tel que mentionné par Maisonhaute et Forbes (2020), il est possible qu'aucun individu ait été collecté dû à l'effet de dissolution créé par la quantité importante de larves colonisant les cadavres. Il est également possible que peu de Sarcophagidae aient été aperçus puisqu'il semblerait que les Calliphoridae peuvent limiter le développement des populations de cette espèce sur les cadavres (Denno et Cothran, 1976 cités dans Charabidze, 2012).

4.5 Succession des diptères

Certaines espèces ont été observées durant seulement un stade de décomposition, autant chez les donneurs humains que les carcasses de cochon. C'est le cas des diptères de l'espèce *C. livida* observés uniquement au stade frais sur les deux types de cadavre (seulement deux individus sur cochons). Cette espèce bien répandue en Amérique du Nord (Jones et al, 2019 ; Marshall et al. 2011), a été décrite comme une espèce colonisant rapidement les cadavres (Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Gruner et al. 2007), ce qui correspond à nos résultats. Cette espèce peut donc être utile dans la détermination de l'IPM à l'aide de la succession des espèces. L'espèce *S. nigiceps* peut également s'avérer utile pour des raisons semblables. En effet, bien que les adultes de l'espèce *S. nigriceps* aient été observés à partir du stade frais pour les donneurs humains et du stade actif pour les carcasses de cochon, les stades immatures n'ont pu être observés qu'à partir du stade avancé et de restes secs pour les donneurs et les carcasses. Ces observations concordent avec celles obtenues dans d'autres études (Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Martin-Vega, 2011). Les spécimens de *C. macellaria* ont été récoltés alors que les deux types de cadavre se trouvaient dans un stade plus avancé de la décomposition (entre actif et avancé pour cochon et momification pour humains). Cependant, comme seulement deux individus ont été récoltés (une larve sur D7 et un adulte sur P9), il n'est pas possible de déterminer, hors de tout doute, que cette espèce colonise les cadavres seulement lors de ce stade,

sur notre site d'étude. En fait, *C. macellaria* a été observé sur les donneurs humains lors de la première semaine d'échantillonnage dans l'étude de Maisonhaute et Forbes (2023), alors que les corps se trouvaient au stade actif. Ces résultats sont donc différents des nôtres. Il est important de préciser qu'il s'agit des premières observations de *C. macellaria* au Québec et donc plus d'études sont nécessaires pour mieux comprendre sa colonisation sur cadavres. Par ailleurs, cette espèce a été identifiée, en Saskatchewan sur des carcasses de cochon du stade frais jusqu'au stade avancé (Sharanowski et al. 2008). Généralement, *C. macellaria* se rencontre aux États-Unis, principalement dans le sud (Byrd et Castner, 2001 ; Jones et al. 2019), puisque cette espèce n'est pas tolérante au froid (Byrd et Castner, 2001). Avec le réchauffement de la température, il y a fort à parier que *C. macellaria* fera dorénavant partie des espèces de diptères nécrophages colonisant les différents cadavres, au Québec. Ces espèces pourraient donc être utiles dans la détermination de l'IPM, puisqu'elles étaient présentes sur les cadavres à des moment précis.

La plupart des familles et espèces ont été présentes durant plusieurs stades de décomposition et parfois même durant tous les stades de décomposition. Par exemple la famille des Muscidae, principalement du genre *Hydrotaea*, qui ont été présents du stade frais au stade de restes secs, sur les deux types de cadavre. Certains individus de la famille des Calliphoridae dont l'espèce *P. regina* ont été récoltés sur les carcasses de cochon durant tous les stades et jusqu'à la décomposition avancée/momification sur les donneurs humains. Il est donc difficile de déterminer si ces espèces peuvent être utilisés dans la détermination de l'IPM, si la succession des espèces est utilisée. Cependant, avec la méthode des DJC, cette espèce pourrait s'avérer utile. Puisque cette espèce est très répandue, plusieurs études se sont intéressées à son cycle et ses seuils de développement.

Les diptères de la famille des Calliphoridae observés lors des stades de décomposition avancée et au stade de restes secs pourraient en fait provenir de la deuxième génération. En effet, ces diptères sont généralement associés au début du processus de

décomposition. Par exemple, dans le cas de P8, un nombre important de mouches Calliphoridae a été vu au jour 34, alors que le début de la migration des larves de cette famille s'est déroulé à partir du jour 14. Il est donc primordial de bien connaitre et comprendre le cycle de développement des diptères pour être en mesure de déterminer à quelle étape du cycle de développement et donc environ depuis quand la colonisation a eu lieu. Par exemple, si des pupes vides sont présentes autour du cadavre, cela signifie qu'un cycle de développement a eu lieu et donc qu'une première génération de diptère a émergé. De telles informations sont précieuses pour les enquêtes policières impliquant des décès.

Bien que les deux types de cadavre aient été visités et colonisés par les diptères dès le jour 0, les diptères sont arrivés dès le dépôt des carcasses de cochon sur le site et en plus grande abondance, par rapport aux donneurs humains. Ceci peut être attribué au fait que les cochons présentaient déjà une blessure avec du sang. Le même phénomène a eu lieu au niveau de la blessure la jambe gauche de D8, tel que discuté précédemment. La présence d'une blessure favorise la colonisation du corps par les diptères d'intérêt forensique et accélère la décomposition (Maisonhaute et Forbes, 2023 ; Mann et al. 1990). Tel que mentionné plus tôt, il est important de déterminer si la blessure est ante ou post mortem. Cette information est utile pour préciser à quel moment la colonisation a eu lieu ainsi que pour mieux préciser l'IPM.

4.6 Abondance

L'abondance des diptères semble avoir été plus importante sur les carcasses de cochon comparativement aux donneurs humains. En effet, les carcasses de cochon présentaient une plus grande quantité de diptères adultes lors des évaluations visuelles. Elles présentaient également, une plus grande colonisation par les larves de diptère, tel que mentionné précédemment. Une hypothèse a été soulevée dans l'article de Dawson et al. (2020) à ce sujet. La forme du corps plus condensée ainsi que la position des carcasses

sur le sol (sur le côté vs sur le dos pour les donneurs humains) auraient favorisé la dispersion des masses de larves sur l'entièreté des carcasses. Le fait que les carcasses de cochon aient eu une plus grande abondance de diptères surtout au stade larvaire, peut avoir influencé la décomposition et favorisé l'atteinte du stade de squelette, stade non atteint par les donneurs humains. Cependant, les analyses statistiques ont démontré qu'il y avait une différence significative au niveau de l'abondance des diptères adultes entre les deux types de cadavres, uniquement pour la famille des Sepsidae et les Muscidae du genre *Hydrotaea*. Ceci pourrait signifier que ces diptères ont un intérêt plus marqué pour les carcasses de cochon plutôt que les donneurs humains. Ce genre de résultats démontre l'importance de continuer à faire de la recherche sur l'entomologie forensique, principalement sur la comparaison entre donneurs humains et carcasses de cochon. Les carcasses de cochon semblent être de bons analogues aux donneurs humains pour connaitre la diversité des insectes nécrophages. Cependant, l'abondance peut être différente entre les deux types de cadavres et cette différence peut avoir un impact entre autres, sur la décomposition.

4.7 Facteurs affectants la présence des diptères

Plusieurs facteurs peuvent avoir joué un rôle dans la présence des diptères sur les différents cadavres. Ces facteurs ont été abordés en partie dans les sections précédentes, par exemple, la présence de blessure sur les cadavres, la température, etc. Un autre facteur, cette fois en lien avec la décomposition auraient également pu jouer un rôle sur la colonisation des diptères. Un de ces facteurs est la présence de composés organiques volatils (COV). Lors de la décomposition, des composés organiques volatils (COV) sont émis par le cadavre. Les diptères sont attirés vers le cadavre grâce à leur sens olfactif qui détecte ces COV (Flint et Tomberlin, 2021). Lors de la décomposition, les COV vont varier (Knobel et al. 2019) et ainsi informer les insectes du stade de décomposition. Le microbiome est en partie responsable des émissions de COV (Dawson et al. 2020). Comme les humains et les carcasses de cochon n'ont pas le même microbiome, le profil de COV

émis ne sera pas le même et ceci peut donc influencer l'arrivée des diptères (Dawson et al. 2020). Ce qui expliquerait que la colonisation a été plus tardive chez les donneurs humains, puisqu'ils ont pris plus de temps à se décomposer. Des recherches sur le sujet des COV ont également été réalisées sur le site de REST[ES] (Patel, 2022 ; Dargan, 2022).

4.8 Facteurs entomologiques affectant la décomposition

Bien que les coléoptères et autres arthropodes observés sur les différents cadavres de cette étude n'aient pas été discutés dans ce projet, ils peuvent avoir eu un impact, notamment, sur la décomposition et l'abondance des larves de diptère. En effet, certains coléoptères nécrophages se nourrissent des tissus en décomposition et y pondent leurs œufs, comme par exemple, la famille des Silphidae (Byrd et Castner, 2001 ; Campobasso et al. 2001). D'autres arthropodes sont prédateurs des espèces nécrophages, comme la famille des Staphylinidae (Byrd et Castner, 2001 ; Campobasso et al. 2001) et des Histeridae (Byrd et Castner, 2001). Campobasso et al. (2001) indiquent qu'une grande population d'arthropodes prédateurs peut retarder la décomposition des cadavres dû à la diminution de la population d'espèces nécrophages comme les diptères. Ainsi, la grande abondance de *N. surinamensis* adultes au niveau de la tête de D7 dans notre étude aurait pu avoir un impact sur la diminution de larves de diptères observées, à la suite de leur arrivée, puisque cette espèce de coléoptère se nourrit, entre autres, des larves de diptère présentent sur les cadavres (Ratcliffe, 1972 ; Popescu et al. 2023). Ce phénomène est notamment soulevé dans l'étude de Popescu et al. (2023), où il est décrit qu'une grande quantité de *N. surinamensis* diminue la quantité de larves de diptère. Une abondance importante de cette espèce, principalement au stade larvaire a également été observée sur P8, ce qui aurait alors pu avoir une incidence sur le processus de décomposition de la carcasse.

Notre étude nous a permis de faire des découvertes intéressantes sur la décomposition des deux types de cadavre ainsi que sur les différents diptères d'intérêt forensique. Bien

sûr, comme nous l'avons déjà mentionné, plusieurs facteurs tels que la température, l'humidité, les saisons, ou encore les communautés entomologiques peuvent influencer la décomposition ainsi que la colonisation par les insectes. Il est donc primordial de faire plus d'études, avec préférablement un plus grand échantillon afin de pouvoir tirer des conclusions plus précises.

5 CONCLUSION

5.1 RETOUR SUR LES OBJECTIFS ET SUR LES RÉSULTATS

Très peu d'études se sont intéressées à la comparaison des communautés de diptère entre les donneurs humains et les carcasses de cochon. Cette étude est la première étude comparant ces paramètres, effectuée au Canada, durant la saison estivale. L'objectif premier de ce projet était, tel que décrit plus tôt, d'étudier les communautés de diptères d'intérêt forensique sur les donneurs humains et les carcasses de cochon. Pour répondre à cet objectif, trois donneurs humains et trois carcasses de cochon ont été placés sur le site de Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales], REST[ES] à Bécancour, au Québec. Une paire, constituée d'un donneur et d'un cochon, a été déposée sur le site, par mois, entre juin et août. Une observation ainsi qu'une prise d'échantillons ont eu lieu afin de recueillir le plus d'informations possible pour répondre à notre objectif. Pour ce faire, nous avons d'abord comparé le processus de décomposition entre les deux types de cadavres, pour répondre au premier sous-objectif. Nous avons pu remarquer que les donneurs humains se décomposaient plus lentement que les carcasses de cochon et que la décomposition était différente. En effet, les donneurs ont eu tendance à se momifier avec peu d'exposition osseuse, tandis que les carcasses de cochon ont atteint un stade de squelettisation complet. Par la suite, nous avons observé et récolté les différents diptères présents sur les cadavres afin de répondre à nos deux derniers sous-objectifs. Notre deuxième sous-objectif était de comparer les espèces et l'abondance des diptères sur les deux types de cadavre et notre troisième sous-objectif, était de déterminer si les deux types de cadavres seraient colonisés au même moment. En tout, 34 familles, espèces ou genres ont été identifiés sur l'un ou l'autre des types de cadavres examinés. Parmi ces 34 taxons, 25 ont été observés aussi bien sur les donneurs humains que sur les carcasses de cochon. Concernant les cadavres humains, 26 espèces et familles de diptères ont été repérées. En ce qui concerne les carcasses de cochon, la diversité de diptères était plus élevée, avec 33 familles et espèces différentes recensées. La phase

active de décomposition est celle ayant eu la plus grande diversité d'espèce autant chez les donneurs humains que sur les carcasses de cochon, tandis que la phase de restes secs est celle avec la plus faible diversité. En général, les mêmes espèces étaient présentent sur les deux types de cadavre. Les diptères ayant été les plus présents sont les espèces *P. regina* et *L. illustris* de la famille des Calliphoridae ainsi que *S. nigriceps* de la famille des Piophiliidae. Les mêmes diptères étaient présents sur les deux types de cadavres, environ durant les mêmes périodes. Les premiers diptères à avoir coloniser les deux types de cadavres sont, entre autres*, P. regina, L. illustris, C. livida* et la famille des Muscidae, notamment du genre *Hydrotaea*. Les adultes de l'espèce *S. nigriceps* étaient présents durant les premiers jours de décomposition, cependant, la colonisation a eu lieu lors du stade avancé sur les donneurs humains et de restes secs. L'abondance est ce qui a différé le plus entre les deux types de cadavres. En effet, lors des observations visuelles, il a été possible de déterminer que les carcasses de cochon étaient d'avantage colonisés par les larves de diptères et les diptères adultes. Les analyses statistiques ont permis de conclure qu'il existe une différence significative entre l'abondance des diptères adultes de la famille des Sepsidae ainsi que de la famille des Muscidae, du genre *Hydrotaea*.

5.2 LIMITATIONS

Ce projet a permis d'obtenir des résultats pertinents sur les différentes communautés de diptères colonisant les donneurs humains et les carcasses de cochon, ainsi que les différences au niveau des stades de décomposition. Il existe cependant certaines limitations. Tout d'abord, comme l'étude n'a été effectuée que sur une certaine région du Québec, il est difficile de conclure que ceux-ci s'appliquent en l'entièreté du territoire comme le titre le laisse entendre. Évidemment, puisque le site de REST[ES] est le seul de ce genre au Canada, il n'est actuellement pas possible de recréer ces études ailleurs en utilisant des donneurs humains. Une autre limitation est au niveau des donneurs humains, bien que la taille de l'échantillon soit restreinte, les trois donneurs présentaient

des caractéristiques différentes qui auraient pu avoir une incidence sur la décomposition. En effet, les donneurs avaient tous un poids, une taille et des historiques médicaux différents. Il est donc ardu de tirer des conclusions sur le processus de décomposition quand ces différents facteurs peuvent tous avoir un impact sur celui-ci. Or, il est intéressant d'utiliser des donneurs avec des caractéristiques différentes pour refléter le mieux possible la réalité. Ensuite, les vertébrés, tels que les animaux charognards et les oiseaux ont été exclus de ce projet. Évidemment, puisque nous utilisons des donneurs humains, il est primordial de respecter des normes éthiques. Toutefois, ces animaux peuvent avoir un impact important sur la décomposition et sur les communautés d'insecte qui colonisent les cadavres et sur la décomposition elle-même (Séguin et al. 2022). Tel que mentionné dans la discussion, l'impact des coléoptères n'a également pas été pris en considération dans ce projet, un projet sur ce sujet a eu lieu en concomitance avec notre étude (Perreault, 2024). Une autre source de limitation est au niveau de l'étude elle-même. Les résultats proviennent presque uniquement d'observations et de dénombrements approximatifs faits par différents observateurs (environ cinq personnes ont participé aux observations). Les données sur l'abondance sont donc, en partie approximatives, puisqu'il était difficile de pouvoir reconnaitre la famille des diptères sur le terrain et d'en faire un décombrement exact et les différents observateurs n'avaient pas tous la même aisance à reconnaitre les diptères. Finalement dû à la petite taille de l'échantillon, il est important de répéter ces expériences.

5.3 Perspectives

Malgré les limitations que peut présenter cette étude, les résultats de ce projet nous permettent de conclure que l'usage de carcasses de cochon peut s'avérer utile pour avoir une idée générale de la colonisation des différents diptères nécrophages au Québec. En effet, les espèces les plus abondantes étaient les mêmes pour les deux types de cadavres et en général, les mêmes espèces étaient présentes environ au même moment.

L’abondance était cependant différente entre les deux types de cadavres, avec les carcasses de cochon présentant une plus grande abondance. Les carcasses de cochon semblent donc être une bonne alternative dans les études où le but est de connaitre les diptères nécrophages présents sur un territoire. Néanmoins, le processus de décomposition entre les deux types de cadavre est trop différent pour que les carcasses de cochon puissent remplacer l’usage de donneurs humains pour l’estimation de l’IPM. Évidemment comme il n’existe à l’heure actuel qu’un seul site d’étude sur la décomposition humaine au Canada, il est impossible de réaliser ce genre de projet sans l’usage de carcasses de cochon. Les résultats de cette étude viennent s’ajouter à ceux obtenus depuis les dernières années sur le site de REST[ES]. Il s’agit également des seuls résultats connus au Canada, sur la comparaison des communautés de diptère et de la décomposition entre les donneurs humains et les carcasses de cochon, durant la saison estivale. Il s’agit donc d’une avancée considérable pour l’entomologie forensique au pays. Ces résultats fournissent également des informations pertinentes pour favoriser l’usage de cette discipline lors d’enquête policières. Rappelons qu’actuellement, les insectes ne sont pas encore utilisés dans les enquêtes policières au Québec, mais que ceux-ci peuvent fournir des renseignements cruciaux tels que l’intervalle post mortem, l’environnement ou des résultats toxicologiques. Dans le futur, il serait intéressant, dans un premier temps, de comparer ces résultats à d’autres obtenus dans le même genre d’études. Il est important de répliquer les projets comme celui-ci, afin de tirer des conclusions plus définitives. Dans un deuxième temps, il serait intéressant de comparer nos résultats avec des mises en situations différentes. Par exemple, en utilisant des donneurs vêtus ou encore reproduire cette étude en milieu urbains ou encore à l’intérieur de bâtiments. Les résultats obtenus lors de ce projet fournissent, néanmoins, des informations importantes sur le processus de décomposition que subissent les cadavres en milieu forestier, d'autant plus que de nombreux cadavres au Québec sont découverts dans un tel milieu, ainsi que les différents diptères nécrophages présents sur notre territoire. Ces résultats pourront éventuellement servir à améliorer nos connaissances en entomologie forensique,

discipline qui pourra être développée davantage pour être utile lors d'enquêtes policières, notamment dans la détermination de l'IPM.

RÉFÉRENCES

Alhayali, N. S. et Mohammed, N. H. (2021). A study of the incidence of *Lucilia sericata* fly in ovine in Mosul city. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 35(4) : 739-743

Amendt, J., Richards, C.S., Campobasso, C.P., Zehner, R. et Hall, M.J.R. (2011). Forensic entomology: applications and limitations. *Forensic Science, Medicine, and Pathology, 7(4):* 379–392

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. (2011). Comparison of decomposition rates and faunal colonization of carrion in indoor and outdoor environments. *Journal of Forensic Science*, *56*(1): 136-142

Anderson, G. S., Hobischak, N., Samborski, C. et Beattie, O. (2002). Insect succession on carrion in the Edmonton, Alberta region of Canada. *Technical Report: Canadian Police Research Center*

Anderson, G. S. et VanLaerhoven, S. L. (1996). Initial studies on insect succession on carrion in southwestern British Columbia. *Journal of Forensic Science*, *41*(4): 617-625

Arcand, P. -L. (2023). The effect of the freeze and thaw cycle on the process of decomposition and entomological succession. Université du Québec à Trois-Rivières, 1-91.

Aubernon, C., Hédouin, V. et Charabidze, D. (2017). Les larves de diptères nécrophages en entomologie médico-légale : une histoire de température. *Medicine Sciences, 33*: 779–783

Aufderheide, A.C. (2003). The Scientific Study of Mummies, Cambridge University Press, Cambridge

Barnes, J. K. (1984). Biology and immature stages of Dryomyza anilis Fallén (Diptera: Dryomyzidae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, *86* : 43-52

Bazaliński, D., Kózka, M., Karnas, M. et Więch, P. (2019). Effectiveness of Chronic Wound Debridement with the Use of Larvae of *Lucilia Sericata. Journal of Clinical Medicine,* 8(11): 1845

Benbow, M. E., Lewis, A. J., Tomberlin, J. K. et Pechal, J. L. (2013). Seasonal Necrophagous Insect Community Assembly During Vertebrate Carrion Decomposition. *Journal of Medical Entomology*, 50(2): 440-450

Benecke, M. et Lessig, R. (2001). Child neglect and forensic entomology. *Forensic Science International*, 120(1): 155-159

Benecke, M. (2001). A brief history of forensic entomology. *Forensic Science International,* 120(1): 2-14

Bergeret, M. (1855). Infanticide, momification naturelle du cadavre. *Annales d'Hygiène Publique et de Médecine Légale*, *4* : 442- 452

Boehme, P., Amendt, J., Disney, R. H. et Zehner, R. (2010). Molecular identification of carrion-breeding scuttle flies (Diptera: Phoridae) using COI barcodes. *International Journal of Legal Medicine*, *124*(6): 577-581

Bugelli, V., Gherardi, M., Focardi, M., Pinchi, V., Vanin, S. et Campobasso, C. P. (2018). Decomposition pattern and insect colonization in two cases of suicide by hanging. *Forensic Sciences Research,*3(1): 94–102

Byrd, J.H. et Allen, J.C. (2001). The development of the black blow fly, Phormia regina (Meigen). *Forensic Science International*, 120: 79-88

Byrd, J.H. et Castner, J.L. (2001). Forensic Entomology: The utility of arthropods in legal investigations. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 418 p.

Campobasso, C. P., Di Vella, G. et Introna, F. (2001). Factors affecting decomposition and Diptera colonization. *Forensic science international*, *120*(1-2): 18-27

Cerretti, P., Stireman III, J. O., Badano, D., Gisondi, S., Rognes, K., Lo Giudice, G. et Pape, T. (2019). Reclustering the cluster flies (Diptera: Oestroidea, Polleniidae). *Systematic Entomology,* 44: 957–972

Charabidze, D. (2008). Étude de la biologie des insectes nécrophages et application à l'expertise en entomologie médico-légale. Sciences du Vivant [q-bio]. Université du Droit et de la Santé - Lille II,

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

Cherix, D., Wyss, C. et Pape, T. (2012). Occurrences of flesh flies (Diptera: Sarcophagidae) on human cadavers in Switzerland, and their importance as forensic indicators. *Forensic Science International,* 220(1-3): 158–163

Chophi, R., Sharma, S., Sharma, S. et Singh. R. (2019) Forensic entomotoxicology: Current concepts, trends and challenges. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 67: 28–36

Cockle, D. L. et Bell, L. S. (2017). The environmental variables that impact human decomposition in terrestrially exposed contexts within Canada. *Science & Justice*, 57(2): 107-117

Connor, M., Baigent, C. et Hansen, E.S. (2018). Testing the use of pigs as human proxies in decomposition studies. *Journal of Forensic Sciences*, 63(5): 1350-1355

Curwen, A. E., Still, R. L., Angell, J. W., Eady, P. E., Millson, S. H., Staton, G. J., Evans, N. J., Duncan J. S., Cotter, S. C. et Clegg, S. R. (2023). A reduced potential for lameness bacterial transmission by *Lucilia sericata* larvae and flies through metamorphosis. *Research in Veterinary Science*, 163: 104967

Dargan, R. (2022). Comparing the decomposition odour between cadavers and human remains used as cadaver detection dog training aids. Université du Québec à Trois-Rivières.

Dawson, B.M., Barton, P.S. et Wallman, J.F. (2020). Contrasting insect activity and decomposition of pigs and humans in an Australian environment: A preliminary study. *Forensic Science International,* 316: 1-8

De Jong, G. D., Meyer, F. et Goddard, J. (2021). An Annotated List of the Blow Flies and Cluster Flies (Diptera: Calliphoridae, Polleniidae) of Mississippi. *Transactions of the American Entomological Society*, 147(3): 827-843

Dougle. W. R. (1972). Of Pigs And Men And Research: A Review of Applications and Analogies of the Pig, *sus scrofa*, in Human Medical Research. *Space Life Sciences,* 3: 226-234

Ehrenfellner, B., Zissler, A., Steinbacher, P., Monticelli, F.C. et Pittner, S. (2017). Are animal models predictive for human postmortem muscle protein degradation? *International Journal of Legal Medicine*, 131(6): 1615-1621

Feddern, N., Mitchell, E.A.D., Amendt, J., Szelecz, I. et Seppey, C.V.W. (2019). Decomposition and insect colonization patterns of pig cadavers lying on forest soil and suspended above ground. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 15: 342–351

Flint, C. A. et Tomberlin, J. K. (2021). Optimizing a Dual-Choice Cube Olfactometer Design for Measuring Adult Secondary Screwworm (Diptera: Calliphoridae) Attraction to a Resource. *Journal of Medical Entomology*, 58(3): 994–1003

Frederickx, C., Dekeirsschieter, J., Verheggen, F.J. et Haubruge, E. (2010). L'entomologie forensique, les insectes résolvent les crimes. *Entomologie faunistique,* 63 (4): 237-249

Gagliano-Candela, R. et Aventaggiato, L. (2001). The detection of toxic substances in entomological specimens. *International Journal of Legal Medecine*, 114:197–203

Gelderman, H.T., Kruiver, C.A., Oostra, R.J., Zeegers, M.P. et Duijst, W.L.J.M. (2019). Estimation of the postmortem interval based on the human decomposition process. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 61: 122-127

Gill-King, H. (1997). Chapter 6- Chemical and ultrastructural aspects of decomposition [in] *Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains in Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains*. CRC Press, 93-108

Gruner, S. V., Slone, D. H. et Capinera, J. L. (2007). Forensically Important Calliphoridae (Diptera) Associated with Pig Carrion in Rural North-Central Florida. *Journal of Medical Entomology*, 44(3): 509-515

Hasan, M., Athanassiou, C. G., Schilling, M. W. et Phillips, T. W. (2020). Biology and management of the red-legged ham beetle, Necrobia rufipes DeGeer (Coleoptera: Cleridae). *Journal of Stored Products Research,* 88: 101635

Haskell, N.H., Hall, R.D., Cervenka, V.J. et Clark M.A. (1997). Chapitre 27- On the body: Insects' life stage presence, their postmortem artifacts*. Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains*. CRC Press P. 425

Hayman, J. et Oxenham, M. (2016). Peri-mortem disease treatment: a little known cause of error in the estimation of the time since death in decomposing human remains. *Australian Journal of Forensic Sciences,*48(2) : 171–185

Hildebrand, C. S., Cervenka, V. J., Moon, R. D. et Thomson, R. E. (2022). Calliphoridae (Diptera) on Decomposing Pig Carcasses and Human Cadavers in the Upper Midwest of North America. *Journal of Medical Entomology*, 59(1): 129–134

Jones, N., Whitworth, T. et Marshall, S. A. (2019). Blow flies of North America: Keys to the subfamilies and genera of Calliphoridae, and to the species of the subfamilies Calliphorinae, Luciliinae and Chrysomyinae. *Canadian Journal of Arthropod Identification*, 39: 1-192

Kalinová, B., Podskalská, H., Růžička, J. et Hoskovec, M. (2009). Irresistible bouquet of death—how are burying beetles (Coleoptera: Silphidae: Nicrophorus) attracted by carcasses. *Naturwissenschaften*, 96: 889–899

Keough, N., Myburgh, J. et Steyn, M. (2017). Scoring of decomposition: a proposed amendment to the method when using a pig model for human studies. *Journal of Forensics Sciences*, 62: 986-993

Knobel, Z., Ueland, M., Nizio, K.D., Patel, D. et Forbes, S. L. (2019). A comparison of human and pig decomposition rates and odour profiles in an Australian environment. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 51(5): 557-572

Langer, S. V., Kyle, C. J., Illes, M., Larkin, S. et Beresford, D. V. (2019). Urban and Rural Spatial Delineations in Blow Fly Species (Diptera: Calliphoridae) Across Canada: Implications for Forensic *Entomology Journal of Medical Entomology*, 56(4): 927-935

Leccia, C., Alunni, V. et Quatrehomme, G. (2018). Modern (forensic) mummies: A study of twenty cases. *Forensic Science International,* 288: 330.e1–330.e9

Lefebvre, F., & Gaudry, E. (2009). Forensic entomology: a new hypothesis for the chronological succession pattern of necrophagous insect on human corpses. *Annales de la Société Entomologique de France*, 45(3) : 377-392

Lutz, L., Moreau, G., Czuprynski, S., Bernhardt, V. et Amendt, J. (2019). An empirical comparison of decomposition and fly colonisation of concealed carcasses in the Old and New World. *International Journal of Legal Medicine,* 133:1593–1602

Lynch-Aird, J., Moffatt, C., et Simmons, T. 2015. Decomposition Rate and Pattern in Hanging Pigs. Journal of Forensic Sciences, 60(5): 1155-63

MacInnis, A. E. et Higley, L. G. (2020). Competition among three forensically important blow fly species (Diptera: Calliphoridae): Phormia regina, Lucilia sericata, and Chrysomya rufifacies. *Environmental Entomology*, *49*(6): 1473-1479

Maisonhaute, J.-É. et Forbes, S. L. (2020). Decomposition process and arthropod succession on pig carcasses in Quebec (Canada). *Canadian Society of Forensic Science Journal*, *54*(1): 1-26

Maisonhaute, J.-É. et Forbes, S. L. (2021). Overwintering behaviour of the skipper fly (Diptera: Piophilidae) of forensic importance in Québec, Canada. *The Canadian Entomologist*, *153*(2): 172-180

Maisonhaute, J.-É. et Forbes, S. L. (2023). Decomposition and insect succession on human cadavers in a humid, continental (Dfb) climate (Quebec, Canada). *International Journal of Legal Medicine*: 1- 17

Mann, R.W., Bass, W.M. et 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):103-11

Marchenko, M.I. (2001). Medicolegal relevance of cadaver entomofauna for the determination of the time of death. *Forensic Science International,* 120(1-2): 89-109

Marella, G. L., Perfetti, E., Manciocchi, S. et Arcudi, G. (2013). A case of "precocious" mummification. *Journal of Forensic and Legal Medicine,* 20: 122-124

Marshall, S., Whitworth, T. et Roscoe, L. (2011). Blow flies (Diptera: Calliphoridae) of eastern Canada with a key to Calliphoridae subfamilies and genera of eastern North America, and a key to the eastern Canadian species of Calliphorinae, Luciliinae and Chrysomyiinae. *Canadian Journal of Arthropod Identification*, *11*(11): 1-93

Martin-Vega, D. (2011). Skipping clues: forensic importance of the family Piophilidae (Diptera). *Forensic Science International*, 212(1-3): 1-5.

Matuszewski, S., Szafałowicz, M. et Jarmusz, M. (2013). Insects colonising carcasses in open and forest habitats of Central Europe: Search for indicators of corpse relocation. *Forensic Science International,* 231: 234–239

Matuszewski, S., Hall, M. J. R., Moreau, G., Schoenly, K. G., Tarone, A. M. et Villet, M. H. (2020). Pigs vs people: the use of pigs as analogues for humans in forensic entomology and taphonomy research. *Int J Legal Med*, *134*(2): 793-810.

McAlpine, J.F. (1977). A revised classification of the piophilidae, including'neottiophilidae' and 'thyreophoridae' (diptera: schizophora). *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 103:1-66

Mégnin, P. (1894). *La faune des cadavres: application de l'entomologie à la médecine légale* (Vol. 101). Paris, France: Masson et Gauthier-Villars

Megyesi, M., Nawrocki, S.P. et Haskell, N.H. (2005). Using accumulated degree-days to estimate the postmortem interval from decomposed human remains. *Journal of Forensic Sciences*, 5(3): 1-9

Michaud, J-P. et 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

Minchilli, D. (2020). Thanatochimie : Caractérisation de l'odeur de décomposition d'un cadavre et réponse olfactive des Coléoptères nécrophages. Mémoires de la Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT). Université de Liège, Liège, Belgique

Nabity, P. D., Higley, L. G. et Heng-Moss, T. M. (2006). Effects of Temperature on Development of *Phormia regina* (Diptera: Calliphoridae) and Use of Developmental Data in Determining Time Intervals in Forensic Entomology. *Journal Of Medical Entomology,* 43(6): 1276-1286

Nezakati, E., Hasani, M.H., Zolfaghari, P., Rashidan, M. et Sohrabi, M. B. (2020). Effects of *Lucilia sericata* Maggot Therapy in Chronic Wound Treatment: A Randomized Clinical Trial. *Chronic Wound Care Management and Research*, 7 : 11–17

Owings, C. G., Banerjee, A. et Picard, C. J. (2023). Temporal population genetic structure of *Phormia regina* (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Medical Entomology*, 61(3): 1–13

Patel, D. (2022). Identifying the transition from ante-mortem odour to postmortem odour. Université du Québec à Trois-Rivières

Payne, J. A. (1965). A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. *Ecology*, 46(5): 592-602

Pechal, J. L., Benbow, M. E., Crippen, T. L., Tarone, A. M. et Tomberlin, J. K. (2014) Delayed insect access alters carrion decomposition and necrophagous insect community assembly. *Ecosphere,* 5(4):45

Pecsi, E. L., Bronchti, G., Crispino, F. et Forbes, S. L. (2020). Perspectives on the establishment of a canadian human taphonomic facility: The experience of REST [ES]. *Forensic Science International: Synergy*, 2: 287-292

Peel, M. C., Finlayson, B. L. et Mcmahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences,* 11(5): 1633-1644

Perreault, M-A. (2024). Structure et dynamique des communautés de coléoptère associés aux cadavres humains et porcins au Québec. Université du Québec à Trois-Rivières

Pezzi, M., Leis, M., Marchetti, M. G., Mamolini, E., Del Zingaro, C. N. F., Zanardi, A., Scapoli, C., Giangaspero, A. et Bonacci, T. (2020). Urogenital myiasis caused by *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) in a domestic rabbit in Italy. *Veterinaria Italiana*, 56(3): 213-215

Popescu, L.-E., Losier, C. et Moreau, G. (2023). When the Red-lined Carrion Beetle Disrupts Successional Dynamics on Large Vertebrate Carcasses. *Forensic science international*, 111570

Ratcliffe, B. C. (1972). The Natural History of *Necrodes Surinamensis* (Fabr.) (Coleoptera: Silphidae). *Transactions of the American Entomological Society*, 98(4): 359-410

Ribéreau-Gayon, A., Carter, D.O. et Forbes, S. (2023). Developing a new scoring method to evaluate human decomposition in a humid, continental (Dfb) climate in Quebec. *Journal of Forensic Sciences*, 00:1–13

Rochefort, S., Giroux, M., Savage, J. et Wheeler, T. A. (2015). Key to forensically important Piophilidae (Diptera) in the Nearctic Region. *Canadian Journal of Arthropod Identification*, *27*

Schroeder, H., Klotzbach, H. et Püschel, K. (2003). Insects' colonization of human corpses in warm and cold season. *Legal Medicine,* 5:372–374

Séguin, K., Durand-Guevin, A., Lavallee, C., Ouimet, F., Maisonhaute, J. E., Watson, C. J. et Forbes, S. L. (2022). The taphonomic impact of scavenger guilds in southern Quebec during summer and fall in two distinct habitats. *Journal of Forensic Sci*ences, 67:460–470

Sharanowski, B. J., Walker, E. G. et 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

Simpson, G. et Strongman, D. (2002). Carrion insects on pig carcasses at a rural and an urban site in Nova Scotia. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, *35*(3): 123-143

Tabor, K.L., Brewster, C.C. et Fell, R.D. (2004). Analysis of the Successional Patterns of Insects on Carrion in Southwest Virginia. *Journal of Medical Entomology*, 41(4): 785-795

Taillefer, A. G. et Giroux, M. (2021). Étude de la diversité des insectes nécrophages associés à la décomposition d'une carcasse de porc (Sus domesticus Erxleben) au cours de l'hiver 2012-2013 au Québec. *Le Naturaliste canadien*, 145(1) : 24-34

Thümmel, L., Lutz, L., Geissenberger, J., Pittner, S., Heimer, J. et Amendt, J. (2023). Decomposition and insect succession of pig cadavers in tents versus outdoors–a preliminary study. *Forensic Science International*, 346 : 111640.

Turchetto, M., Lafisca, S. et Costantini, G. (2001). Postmortem interval (PMI) determined by study sarcophagous biocenoses: three cases from the province of Venice (Italy). *Forensic Science International*, 120: 28-31

VanLaerhoven, S. L. (2008). Blind validation of postmortem interval estimates using developmental rates of blow flies. *Forensic Science International, 180(2-3): 76–80*

Vezsenyi, K. A., Langer, S. V., Samkari, B. A. et Beresford, D. V. (2022). The history and current state of cluster flies (Diptera: Polleniidae: *Pollenia)* in North America, with new Canadian provincial records. *The Canadian Entomologist*, 154 (24): 1–17

Wang, Y., Li, L.-l., Wang, J.-f., Wang, M., Yang, L.-j., Tao, L.-y., Zhang, Y.-n., Hou, Y.-d., Chu, J. et Hou, Z.-l. (2016). Development of the green bottle fly Lucilia illustris at constant temperatures. *Forensic Science international*, *267*: 136-144

Watson, E. et Carlton, C. (2005). Succession of forensically significant carrion beetle larvae on large carcasses (Coleoptera: Silphidae). *Southeastern Naturalist*, *4*(2): 335-346

Wyss, C. et Cherix, D. (2013). Traité d'entomologie forensique : les insectes sur la scène de crime. Italie : Presses polytechniques et universitaires romandes

Zabala, J., Díaz, B. et Saloña-Bordas, M. I. (2014) Seasonal Blowfly Distribution and Abundance in Fragmented Landscapes. Is It Useful in Forensic Inference about Where a Corpse Has Been Decaying? *PLoS ONE,* 9(6): e99668

Zanetti, N. I., Visciarelli, E. C., & Centeno, N. D. (2015). Marks caused by the scavenging activity of Necrobia rufipes (Coleoptera: Cleridae) under laboratory conditions. *Journal of forensic and legal medicine*, *33*, 116-120

Zhou, C. et Byard, R.W. (2011). Factors and processes causing accelerated decomposition in human cadavers e An overview. *Journal of Forensic and Legal Medicine,* 18: 6-9

ANNEXE A

FEUILLE DE DONNÉES – SUIVI DES POPULATIONS D'INSECTES SUR CORPS HUMAIN
UQTR - CHAIRE DE RECHERCHE EN THANATOLOGIE FORENSIQUE

Date _____ **Corps #** _____

Heure _____ **Jour de décomposition** _____

Observateur : _____

Météo				
☐ Soleil	☐ Pluie fine	☐ Faible vent	☐ Humide	☐ Frais
☐ Soleil-Nuage	☐ Averses	☐ Venteux	☐ Orageux	☐ Tempéré
☐ Nuageux	☐ Pluie soutenue	☐ Rafales de vent	☐ Chaud	

Stade de décomposition

☐ **Frais :** immédiatement après dépôt du cadavre, peu de changement, pas d'odeur forte

☐ **Gonflé :** corps détendu, peau avec marbrures, beaucoup de Diptères, odeur

_____

☐ **Décomposition active :** corps dégonflé, peau noircie, forte odeur, apparence humide, Diptères présentes

_____

☐ **Décomposition avancée :** chair presque absente, larves de Calliphoridae ayant migré ou sont en train de le faire

_____

☐ **Sec/Restes :** os, cartilage, reste de peau, faible odeur, Diptères (petites) et Coléoptères

_____

Megvesi's body score													
Tête/cou	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6	☐ 7	☐ 8	☐ 9	☐ 10	☐ 11	☐ 12	☐ 13
Tronc	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6	☐ 7	☐ 8	☐ 9	☐ 10	☐ 11	☐ 12	
Membes	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6	☐ 7	☐ 8	☐ 9	☐ 10			

Remarques : _____

_____

_____

Activité des Diptères adultes (observation pendant 30 secondes)

Heure 1 : _____ Heure 2 : _____

Nb observés 1 : _____ Nb observés 2 : _____

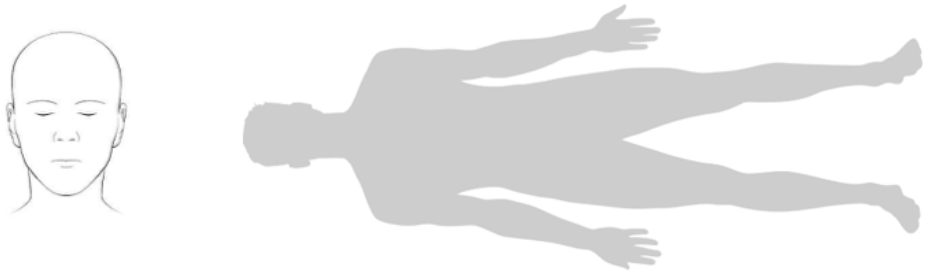
Niveau d'activité 1 :
- ☐ Très faible (<10)
- ☐ Faible (10-50)
- ☐ Modéré (50-100)
- ☐ Élevée (100-200)
- ☐ Très élevée (200+)

Niveau d'activité 1 :
- ☐ Très faible (<10)
- ☐ Faible (10-50)
- ☐ Modéré (50-100)
- ☐ Élevée (100-200)
- ☐ Très Élevée (200+)

1/2

Observations des insectes

Heure : Durée :



Diptera (adulte)
- ☐ Calliphoridae
  - ☐ *Lucil* ☐ *Calliph.* ☐ *Phormia*
- ☐ Muscidae
- ☐ Fanniidae
- ☐ Hydrotaea
- ☐ Sarcophagidae
- ☐ Piophilidae
- ☐ Sepsidae
- ☐ Psychodidae
- ☐ Phoridae
- ☐ Sphaeroceridae
- ☐ Scatopsidae
- ☐ Culicidae ☐ Autres : _____

Coleoptera (adulte)
- ☐ Silphidae
  - ☐ *Necrophila* ☐ *Nicrophorus* ☐ *Oiceoptoma*
- ☐ Histeridae
- ☐ Staphylinidae
  - ☐ *O. cingulatus* ☐ *Creophilus* ☐ Autre _____
- ☐ Nitidulidae
- ☐ Cleridae
- ☐ Dermestidae
- ☐ Scarabaeidae
- ☐ Autres : _____

Autres
- ☐ Formicidae
- ☐ Hymenoptera : _____
- ☐ Araneae
- ☐ Opiliones
- ☐ Acari : _____
- ☐ Lepidoptera
- ☐ Heteroptera
- ☐ Autres : _____

Larves ☐ Diptera ☐ Calliph. ☐ Pioph. Localisation : _____ ☐ Migration

☐ Coleoptera ☐ Staphylinidae ☐ Silphidae_____ ☐ Nitidulidae ☐ Autre _____
Localisation : _____

☐ Autres : _____ Localisation : _____

Pupes Diptera ☐ Localisation : _____

Œufs Diptera ☐ Localisation : _____

Échantillons collectés :

# Échantillon	Lieu de collecte	Description	Note