

**Université du Québec à Trois-Rivières**

**Structure et dynamique des communautés de coléoptères associés aux cadavres  
humains et porcins au Québec**

**Mémoire présenté  
comme exigence partielle de la  
maîtrise en sciences de l'environnement**

**Par  
Marc-Antoine Perreault**

**Août 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

Tout d'abord, je tiens à remercier ma directrice de recherche, Shari Forbes, et ma codirectrice de recherche, Julie-Éléonore Maisonhaute, de m'avoir offert la possibilité de réaliser ce projet de maîtrise. Vos conseils ainsi que votre aide tout au long de ce projet de maîtrise auront été des plus formateurs et des plus instructifs. Merci de votre disponibilité et de votre grande compréhension tout au long de la réalisation de ce projet de maîtrise. Sans vous, je n'aurais jamais pu réaliser ce projet de maîtrise.

Je tiens également à remercier toute l'équipe de recherche du site REST[ES] sans qui ce projet n'aurait pas été possible. Merci à Agathe Ribéreau-Gayon, Darshil Patel, Frédérique Ouimet et Rushali Dargan pour leur aide sur le terrain. Un merci particulier s'adresse à mes collègues Sophie Morel et Pierre-Louis Arcand pour leur aide précieuse tout au long de la collecte des données sur le terrain. Je dois aussi remercier les familles de nos donateurs humains et les donateurs eux-mêmes puisque sans eux ce projet n'aurait jamais pu avoir lieu.

Je souhaite aussi remercier les professeurs Raphaël Proulx et Gaétan Moreau pour leurs aides précieuses au niveau des analyses statistiques et de la rédaction. Des remerciements sont également dus à mes deux évaluatrices externes, Hélène LeBlanc et Geneviève Labrie pour leurs précieux conseils qui m'ont permis de perfectionner

plusieurs aspects importants de ce projet de recherche. Je tiens aussi à remercier Joseph Moissan-De Serres pour son aide lors de l'identification des spécimens de coléoptères.

Au niveau financier, je tiens à remercier le Groupe de Recherche en Science Forensique (GRSF) pour le support monétaire que j'ai reçu au cours de ce projet. Leur support m'a été bien utile pour réaliser ce projet.

À un niveau plus personnel, je tiens à remercier tous les membres de ma famille qui m'ont encouragé et soutenu tout au long de ces trois années de maîtrise. J'ai pu finaliser ma maîtrise grâce à leur aide. Je remercie aussi mon chien Onyx, en raison de sa présence réconfortante qui m'a aidé dans des moments de rédaction plus difficile. Et finalement, un merci tout particulier à ma conjointe Julie-Per Viau pour ses encouragements, son aide et son soutien sans faille tout au long de mes années de maîtrise.

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS .....	1
TABLE DES MATIÈRES .....	3
RÉSUMÉ .....	6
LISTES DES FIGURES .....	7
LISTE DES TABLEAUX .....	9
1. INTRODUCTION .....	10
1.1 L'entomologie forensique .....	10
1.2 L'entomologie forensique au Canada et au Québec .....	13
1.3 Processus de décomposition .....	15
1.4 Modèles d'étude utilisés en entomologie forensique .....	19
1.5 Biologie et écologie des coléoptères .....	21
1.6 Coléoptères impliqués dans le processus de décomposition .....	24
1.6.1 Silphidae .....	25
1.6.3 Nitidulidae .....	27
1.6.4 Cleridae.....	28
1.6.5 Histeridae .....	29
1.6.6 Staphylinidae .....	29
1.6.7 Autres coléoptères associés aux cadavres en décomposition.....	30
1.7 Objectifs et hypothèses .....	33

<b>2. MÉTHODOLOGIE .....</b>	<b>35</b>
<b>2.1 Aire d'étude .....</b>	<b>35</b>
<b>2.2 Disposition des cadavres porcins et des donneurs humains .....</b>	<b>36</b>
<b>2.3 Collecte des données.....</b>	<b>40</b>
2.3.1 Décomposition .....	40
2.3.2 Données entomologiques .....	41
2.3.3 Données environnementales .....	42
<b>2.4 Identification des insectes .....</b>	<b>42</b>
<b>2.5 Analyse des données .....</b>	<b>43</b>
<b>3. RÉSULTATS .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1 Données environnementales.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2 Résultats de décomposition .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3 Analyses des communautés de coléoptères .....</b>	<b>51</b>
<b>3.4 Comparaison de la structure des communautés de coléoptère .....</b>	<b>55</b>
<b>3.5 Influence des facteurs environnementaux .....</b>	<b>61</b>
<b>4. DISCUSSION .....</b>	<b>66</b>
<b>4.1 Processus de décomposition humain et porcin.....</b>	<b>67</b>
<b>4.2 Structure des communautés de coléoptères nécrophages et nécrophiles .....</b>	<b>71</b>
<b>4.3 Comparaison de la structure des communautés de coléoptères.....</b>	<b>79</b>
<b>4.4 Facteurs environnementaux.....</b>	<b>84</b>

	5
<b>4.5 Limites de l'étude .....</b>	<b>89</b>
<b>5. CONCLUSION.....</b>	<b>91</b>
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>94</b>



## RÉSUMÉ

En entomologie légale, deux ordres d'insectes sont au premier plan de la recherche, les diptères et les coléoptères. Cependant, l'ordre des coléoptères est généralement négligé en raison de leur colonisation plus tardive des cadavres. Il n'en demeure pas moins qu'ils peuvent révéler des informations importantes sur le moment et les causes du décès d'un individu, en particulier si le cadavre est découvert durant les derniers stades de décomposition. C'est pourquoi cette étude visait à déterminer quelles familles et espèces de coléoptères colonisaient les corps en décomposition. Notre étude représente la première étude effectuée à la fois sur des cadavres humains et sur des cadavres porcins réalisée au Québec et s'intéressant directement aux coléoptères nécrophages et nécrophiles. Dans un premier temps, cette étude a permis de réaliser un inventaire des espèces de coléoptères nécrophages et nécrophiles qui peuvent coloniser les corps en milieu forestier, dans un climat septentrional comme celui du Québec. Dans un deuxième temps, cette étude a révélé que les coléoptères du Québec forment des communautés différentes dépendamment du type de cadavres, ce qui souligne l'importance de réaliser des études sur des modèles humains. Dans un troisième temps, ce projet de recherche a révélé plusieurs facteurs environnementaux qui peuvent influencer la présence ou l'absence de certaines familles ou espèces de coléoptère. Au sein de ces facteurs environnementaux, nous retrouvons notamment la température ambiante, la pluviométrie et la luminosité. Ce projet représente donc une base pour de futures études en lien avec les coléoptères nécrophages et nécrophiles du Québec ainsi que pour des projets en lien avec l'entomologie légale.

Mots clés : Insectes, décomposition, entomologie forensique, colonisation, forêt, Intervalle Post-Mortem

## LISTES DES FIGURES

Figure 1. Schéma représentant les cinq principaux stades de décomposition. ....	19
Figure 2. Représentation du cycle de vie général des coléoptères. ....	22
Figure 3. Représentation schématique de la disposition des cadavres porcins et des donneurs humains sur le site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada) durant l'été 2021. ....	37
Figure 4. Température moyenne journalière, température minimale journalière et température maximale journalière enregistrées par les sondes de luminosité sur le site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de mai à octobre 2021. ....	45
Figure 5. Distribution des précipitations enregistrées par la station météorologique sur le site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de mai à octobre 2021. ....	46
Figure 6. Luminosité moyenne journalière (lux) enregistrée sur le site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de mai à octobre 2021. ....	47
Figure 7. Stade de décomposition des cadavres humains et porcins en fonction des jours de décomposition sur le site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. ....	49
Figure 8. Structure de la communauté de coléoptères nécrophages et nécrophiles sur cadavres porcins en fonction du nombre de degrés-jours accumulés, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. ....	52
Figure 9. Structure de la communauté de coléoptères nécrophages et nécrophiles sur cadavres humains en fonction du nombre de degrés-jours accumulés, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. ....	54
Figure 10. Différence dans la structure de la communauté de coléoptères nécrophages et nécrophiles entre les cadavres humains et porcins en fonction du nombre de degrés-jours accumulés, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. ....	57

Figure 11. Abondance des différentes familles et espèces de coléoptères nécrophages et nécrophiles en fonction du numéro de donneur humain, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. ....	58
Figure 12. Abondance des différentes familles et espèces de coléoptères nécrophages et nécrophiles en fonction du numéro du cadavre porcin, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. ....	59
Figure 13. Abondance des différentes familles et espèces de coléoptères nécrophages et nécrophiles en fonction du type de donneur, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. ....	61
Figure 14. Résultats de l'analyse de redondance canonique (RDA) présentant l'impact de cinq facteurs environnementaux sur la communauté de coléoptères nécrophages et nécrophiles sur cadavres humains et porcins, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. ....	65

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Informations sur les conditions physiques et médicales des donneurs du site REST[ES] (Québec, Canada), au cours de l'été 2021. ....	39
Tableau 2. Date d'arrivée des paires humain – cochon et distance (m) séparant chaque paire humain – cochon sur le site REST[ES], Bécancour, Québec (Canada), été 2021.....	39
Tableau 3. Coefficients ( $\beta$ ) et valeur de p du modèle de régression de Poisson utilisé pour expliquer l'abondance des coléoptères nécrophages et nécrophiles sur cadavres humains et porcins, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021.....	63

# **1. INTRODUCTION**

## **1.1 L'ENTOMOLOGIE FORENSIQUE**

L'entomologie légale est la science qui s'appuie sur l'identification des insectes présents sur une scène de crime pour élucider celui-ci (Benecke, 2001). Le premier cas recensé de l'utilisation d'insectes pour résoudre un crime date du XIII<sup>e</sup> siècle et provient de Chine. Les enquêteurs auraient utilisé la présence de mouches sur une faucille pour identifier l'arme du crime et, par la suite, le criminel lui-même (Benecke, 2001). De plus, bien qu'il ne s'agisse pas d'entomologie forensique en tant que telle, on recense de nombreuses pièces d'art créées pendant le Moyen Âge, comme des toiles et des sculptures qui illustrent avec précision l'action d'insectes lors de processus de décomposition (Benecke, 2001). Cette discipline a ensuite évolué en France grâce aux travaux de Bergeret dans les années 1850 (Gennard, 2012). Pour la première fois dans l'histoire, celui-ci documente l'intervalle post-mortem (IPM), c'est-à-dire l'estimation du temps passé depuis la mort (Gennard, 2012), grâce à l'étude d'insectes retrouvés sur le corps. Dans son rapport, il explique que les pupes et les larves de diptère présentes sur le corps indiquent deux générations, correspondant à deux ans selon ses dires. Cela est faux, car Bergeret a estimé que les femelles diptères pondaient uniquement l'été et

que le temps de développement complet des larves était d'une année complète. Malgré ces erreurs, il s'agit là des débuts de l'utilisation des insectes dans des affaires légales (Benecke, 2001). Les recherches de Bergeret ont par la suite aidé Mégnin, un vétérinaire de l'armée française et entomologiste, à publier le premier livre détaillant une succession d'insectes à intervenir lors de la décomposition d'un cadavre, *La Faune des Cadavres* (1894) (Megnin, 1894).

En Europe, au cours des années 1900, de nombreux cas de décès suspects ont pu être élucidés grâce à l'utilisation des insectes, principalement des diptères, des coléoptères et d'autres insectes moins communément utilisés en entomologie légale, comme des blattoptères (ex. coquerelles). Par exemple, en Russie, un docteur a montré que les blessures observées sur un nourrisson décédé étaient dues à des morsures de coquerelles et non à un coup infligé par autrui, ce qui a permis de prouver que la mort était de cause naturelle et d'innocenter le père de l'enfant qui avait été accusé à tort (Roth et Willis, 1957).

De nos jours, les insectes nécrophages sont largement utilisés dans le domaine de la criminalistique. En effet, ces derniers peuvent être utilisés pour de nombreuses applications médicales et légales, notamment pour élucider des cas d'abus ou de négligences grâce à la présence d'asticots, (les larves de diptère) sur des blessures ou déterminer l'IPM au moyen de la succession entomologique ou l'étude du développement larvaire. Il est aussi possible de déterminer l'identité d'une personne décédée en utilisant l'ADN retrouvé dans les insectes qui ont consommé une partie du corps, ou déterminer la cause du décès (Frederickx et al., 2010). À titre d'exemple, il

est possible d'utiliser les insectes nécrophages pour déterminer si une victime a été empoisonnée ou si cette dernière était sous l'effet d'une substance toxique lors du décès grâce à la bioaccumulation de ces substances dans le corps de l'insecte (Byrd et Tomberlin, 2020), et cela même lorsque le corps n'est pas en assez bon état pour permettre ce genre d'analyse.

Bien que l'entomologie forensique soit actuellement une science reconnue dans de nombreux pays, certaines régions du monde sont plus avancées que d'autres dans ce domaine. Par exemple, l'Europe et l'Amérique du Nord ont créé respectivement l'*Association européenne pour l'entomologie forensique* (AEFE) (Frederickx et al., 2010) et *the North American Forensic Entomology Association* (NAFEA) en 2002 (Anderson et al., 2013). De plus, bon nombre de pays ont développé une expertise en entomologie forensique. Par exemple, des chercheurs américains ont effectué de nombreux travaux dans ce domaine, que ce soit au niveau de l'étude de la succession des insectes, en passant par l'effet de la température sur la décomposition, ou encore l'effet des différents écosystèmes sur la succession d'insectes (Byrd et Tomberlin, 2020). D'autres études ont aussi été réalisées en Australie pour déterminer la succession des insectes sous des conditions spécifiques ou dans un espace restreint (Voss et al., 2008).

## **1.2 L'ENTOMOLOGIE FORENSIQUE AU CANADA ET AU QUÉBEC**

Au Canada, de nombreuses recherches ont été effectuées dans le domaine de l'entomologie forensique, et cela dans presque toutes les provinces, comme l'Alberta (Horbischak et al., 2006), l'Ontario (Anderson, 1982 ; Langer et al., 2019), la Saskatchewan (Sharanowski et al., 2008), la Colombie-Britannique (Anderson, 2001 ; Anderson et Huitson, 2004), le Yukon (Bygarski et LeBlanc, 2013), le Québec (Maisonhaute et Forbes, 2021 ; Taillefer et Giroux, 2021) et même le Nouveau-Brunswick (Popescu et al., 2023). Ainsi, les premières recherches menées par la Dre Gail Anderson ont permis de déterminer la succession des insectes lors du processus de décomposition en Colombie-Britannique (VanLaerhoven et Anderson, 1996). Depuis, les recherches au Canada sont très variées et traitent de nombreux sujets en lien avec les insectes qui colonisent les cadavres, que ce soit un indice de négligence en lien avec les myiases (Anderson et Huitson, 2004), les impacts d'un climat nordique sur les processus de décomposition (Bygarski et Leblanc, 2013), l'effet des composés volatils sur les insectes nécrophages (LeBlanc et Logan, 2010) ou l'effet du type d'habitat et de l'exposition à la lumière sur la vitesse de décomposition (Sharanowski et al., 2008). On retrouve également des recherches au Nouveau-Brunswick qui documentent les stades de décomposition et l'utilisation des degrés-jours pour déterminer l'IPM (Michaud et Moreau, 2011). Ainsi, l'ensemble de ces travaux ont permis de faire progresser le domaine de l'entomologie forensique au Canada.



Au Québec, seulement quelques études sur les insectes nécrophages et nécrophiles ont été effectuées. Parmi celles-ci, on trouve l'étude de Brousseau et al., (2010) qui porte sur la diversité des coléoptères nécrophages et coprophages au moyen de pièges-appâts et qui a permis de montrer des variations d'abondance et de diversité au niveau des espèces étudiées, même au sein du même type de milieu. Une autre étude réalisée au Québec est celle de Taillefer et Giroux (2021), qui portait sur les insectes colonisant une carcasse de porc au cours de l'hiver. Cette étude a permis de montrer les impacts de la saison hivernale sur les processus de décomposition. Il y a également les études de Maisonhaute et Forbes qui ont permis de réaliser un inventaire de la communauté d'insectes sur des carcasses de porc (2021) ou sur des cadavres humains (2023). Tout récemment, il y a également eu l'étude d'Arcand et al., (2023), qui portait sur l'effet du gel et du dégel sur les processus de décomposition d'un corps et sur les communautés d'insectes nécrophages et nécrophiles. Malgré tous ces travaux, il apparaît que de nombreuses recherches sont encore nécessaires au Québec pour avoir une meilleure connaissance de l'entomofaune en lien avec la décomposition de la matière organique animale, et notamment sur les coléoptères associés aux cadavres.

Il est également important d'effectuer des études locales (donc au Québec), car la distribution des espèces d'arthropodes dépend de la localisation géographique. En effet, les insectes qui colonisent un corps en décomposition peuvent différer d'une région à l'autre. Par exemple, au Canada, *Nicrophorus pustulatus* Herschel, (1807) (Coleoptera: Silphidae), est fréquemment observé en Saskatchewan et en Alberta, mais pas dans les provinces de l'Ontario et du Québec (Anderson, 1982). De plus, au sein

d'une même zone géographique, le processus de décomposition et la composition des communautés d'insectes peuvent varier en fonction de l'habitat (p. ex : milieu ouvert ou fermé) (Sharanowski et al., 2008 ; LeBlanc, 2008).

La distribution des insectes dépend également du climat. Au Québec, le climat représente un obstacle majeur pour de nombreuses espèces, en raison des températures très froides pendant la saison hivernale. Les insectes étant ectothermes, lorsque la température ambiante atteint 0 °C, il n'y a pratiquement plus d'activité de leurs part. Ce faisant, de nombreuses espèces d'arthropodes ont dû mettre en place des adaptations leur permettant de survivre dans ces conditions climatiques difficiles. Par exemple, plusieurs espèces de coléoptère, comme la coccinelle maculée, *Coleomegilla maculata lengi* Timberlake, (1943), entrent en diapause, c'est-à-dire un arrêt programmé du développement (Smith, 2002), lorsque la température atteint 0 °C (Labrie et al., 2008). Les individus du genre *Nicrophorus*, quant à eux, s'enfouissent dans le sol pour maintenir une température interne supérieure à 0 °C (Smith, 2002). Pour toutes les raisons citées précédemment, il est important de réaliser des études locales, notamment pour connaître la structure des communautés d'arthropodes nécrophages et nécrophiles présentes au Québec.

### 1.3 PROCESSUS DE DÉCOMPOSITION

Lorsqu'un animal meurt, plusieurs processus s'enclenchent dans le corps pour donner lieu au phénomène de décomposition. Afin de caractériser ce phénomène, les

scientifiques ont établi une série de cinq à six stades permettant de classer la décomposition d'un corps en fonction de ses caractéristiques physiques et physiologiques (p. ex : odeur, gonflement, os visibles, etc.) (Goff, 2009). Ces stades de décomposition ont été créés en se basant sur plusieurs modèles tels que des humains, des cochons, des souris et même des lézards (Goff, 2009).

(1) *Stade frais* : le premier stade de décomposition commence immédiatement après le décès d'un individu et peut durer jusqu'à sept jours après le décès (Byrd et Tomberlin, 2020) ; Figure 1-a). Généralement, le corps n'a pas encore subi de modifications physiques et il n'y a pas d'odeur ou alors seule une odeur très subtile se dégage du corps (Payne, 1965 ; LeBlanc et Strongman, 2002 ; Parks, 2011).

(2) *Stade gonflé* : le deuxième stade de décomposition commence lorsque le corps présente des signes de gonflement (Payne, 1965 ; Figure 1-b). Durant cette période, la coloration de la peau change lentement pour devenir verte et une odeur plus intense se dégage du corps (Goff, 2009). De plus, la caractéristique principale de ce stade est le gonflement du corps, causé par l'accumulation de gaz sous l'action de la décomposition du corps par les micro-organismes (Vass, 2001). Ce stade survient généralement entre un à cinq jours après le décès (Byrd et Tomberlin, 2020).

(3) *Stade de décomposition active* : le troisième stade de décomposition débute généralement de trois à huit jours après le décès (Byrd et Tomberlin, 2020 ; Figure 1-c). Il se caractérise par la liquéfaction des tissus, la présence d'une forte odeur et une forte activité des insectes présents sur le corps (Payne, 1965 ; LeBlanc et Strongman, 2002 ; Parks, 2011). Par ailleurs, c'est durant ce stade que le corps se dégonfle en raison

des gaz qui s'échappent et que les muscles et la graisse se dégradent sous l'action de bactéries (Vass, 2001).

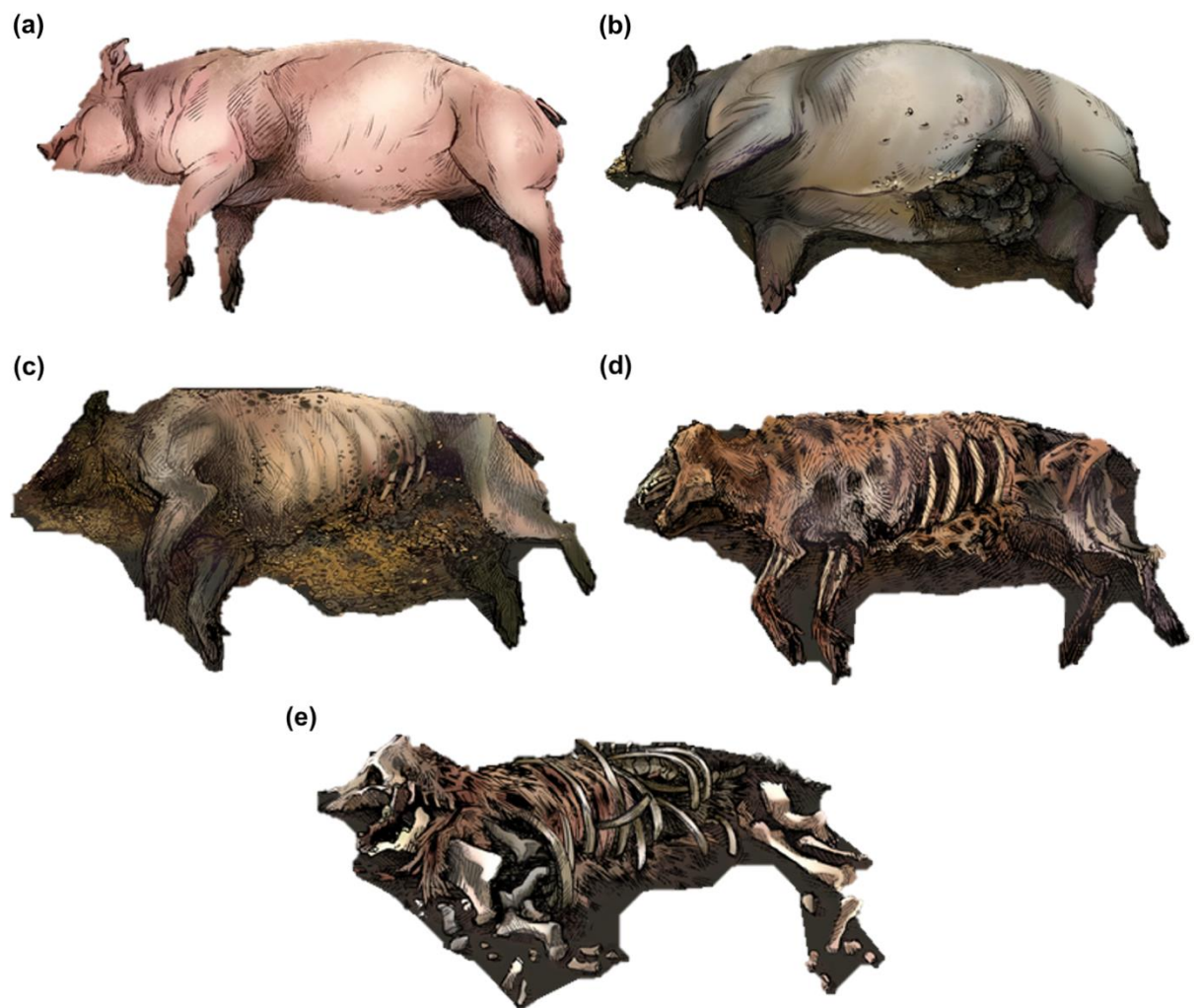
(4) *Stade de décomposition avancée* : lors du quatrième stade de décomposition, la peau n'est presque plus visible et l'odeur diminue en intensité (Payne, 1965 ; LeBlanc et Strongman, 2002 ; Figure 1-d). C'est aussi durant ce stade que les colonisateurs plus tardifs tels que les dermestes (Dermestidae) commencent à coloniser le corps (LeBlanc et Strongman, 2002). Ce stade débute généralement quatre à dix jours après le décès (Byrd et Tomberlin, 2020).

(5) *Stade de restes secs* : le cinquième stade de décomposition survient environ deux mois après le décès et correspond au moment où il ne reste plus que des os, du cartilage et parfois de la peau durcie (Payne, 1965 ; LeBlanc et Strongman, 2002 ; Figure 1-e).

Un cadavre peut également passer par le processus de *momification*. En effet, le processus de *momification* a été observés sur plusieurs modèles tel que les humains (Mula, 2023) et les cochons (Nurminen et al., 2017). En effet, la *momification* est un processus qui permet au cadavre de se préserver en empêchant la décomposition de se poursuivre (Finaughty et Morris, 2019). Ce processus entraîne une déshydratation des tissus mous et cause une apparence de cuir au niveau de la peau des défunts (Vass, 2001 ; Parks, 2011 ; Leccia et al., 2018). La *momification* est généralement induite par des facteurs environnementaux tels que la chaleur ou un faible taux d'humidité (Vass, 2001 ; Leccia et al., 2018). Cependant, d'autres facteurs peuvent entraîner la *momification* d'un cadavre. Par exemple, la *momification* est plus fréquente chez les

cadavres plus âgés, ayant une masse corporelle plus faible ou étant déshydratés (Marella et al., 2013).

Ainsi, grâce aux caractéristiques physiques et physiologiques que l'on observe sur un corps en décomposition, il est possible d'estimer à quel stade celui-ci se trouve et par conséquent, d'obtenir un indice du temps écoulé depuis son décès. Cependant, le stade de décomposition ne constitue qu'un indice approximatif du temps écoulé depuis le décès (Mathur et Agrawal, 2011), puisque la vitesse de décomposition et la durée des différents stades de décomposition dépendent de plusieurs facteurs, y compris l'emplacement du corps (p. ex : milieu ouvert ou fermé), la température ambiante ainsi que l'activité des bactéries, des insectes et des charognards vertébrés (Vass, 2001 ; Hyde et al., 2014 ; Cockle et Bell, 2015 ; Séguin et al., 2021).



**Figure 1.** Schéma représentant les cinq principaux stades de décomposition : *frais* (a), *gonflé* (b), *décomposition active* (c), *décomposition avancée* (d) et *restes secs* (e) sur un cadavre porcin.

#### 1.4 MODÈLES D'ÉTUDE UTILISÉS EN ENTOMOLOGIE FORENSIQUE

Les animaux non humains sont couramment utilisés comme substitut pour remplacer l'utilisation de corps humains dans plusieurs domaines scientifiques. Par

exemple, durant la Grèce antique, des chiens (*Canis lupus familiaris*) et des poules (*Gallus gallus domesticus*) étaient utilisés comme modèles biologiques pour mieux comprendre l'anatomie humaine (Ericsson et al., 2013). De nos jours, et après plusieurs essais avec différentes espèces animales (p. ex : lapin, oiseau, lézard ; Matuszewski et al., 2019), les experts en entomologie forensique utilisent majoritairement le cochon domestique pour « répliquer » le corps humain en raison de diverses similarités morphologiques (Matuszewski et al., 2019). Par exemple, les cochons domestiques ne possèdent presque pas de poils, comme les humains, et leur poids est relativement similaire. De plus, il est généralement plus facile de se procurer des corps de cochons domestiques que des corps humains (Matuszewski et al., 2019). Cependant, bien qu'il y ait de nombreuses similarités entre les cochons domestiques et les humains, il existe également des différences morphologiques (p. ex : proportion corporelle) et physiologiques (p. ex : alimentation ; Matuszewski et al., 2019). De plus, l'odeur de la mort, c.-à-d. l'odeur émise par un corps en décomposition, diffère entre les deux espèces (Knobel et al., 2019). En raison de ces différences, certaines études ont remis en question l'utilisation du cochon domestique en entomologie forensique (Connor et al., 2018 ; Dawson et al., 2020). Néanmoins, d'autres études indiquent que le cochon domestique est un modèle de choix en entomologie forensique en raison des difficultés liées à l'utilisation des corps humains dans ce domaine (p. ex : acquisition et conservation des corps ; Wang et al., 2017 ; Matuszewski et al., 2019). De plus, Schoenly et al., (2007) ont montré que 99,7 % des espèces d'insectes ne démontraient pas de préférence entre les corps humains et les cochons domestiques. Finalement, bien

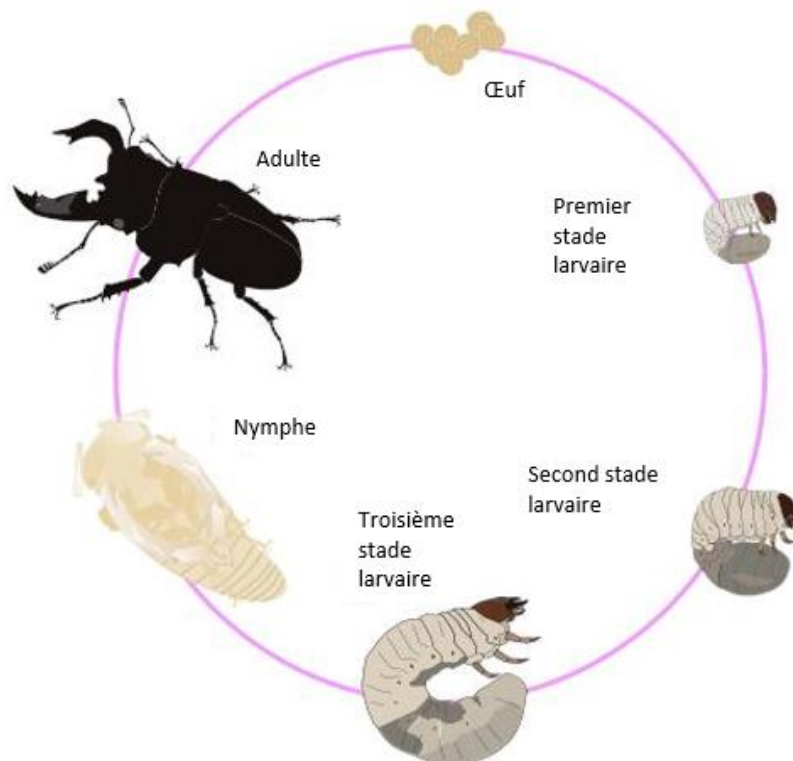
que le cochon domestique soit considéré comme un bon substitut au corps humain en entomologie forensique, il n'en demeure pas moins que des différences majeures existent entre ces deux espèces (Schoenly et al., 2007 ; Matuszewski et al. 2019). De plus, la communauté de coléoptères nécrophages et nécrophiles n'étant pas encore bien connue au Québec, il apparaît essentiel de vérifier si la diversité et la succession de ces coléoptères sont les mêmes sur les cadavres humains et porcins.

## **1.5 BIOLOGIE ET ÉCOLOGIE DES COLÉOPTÈRES**

Les coléoptères représentent un ordre d'insectes très abondant et diversifié. En effet, à eux seuls, ils représentent près de 20 % de tous les êtres vivants connus actuellement (Whitefield et Purcell, 2012). Malgré cette grande diversité, les différentes espèces de coléoptère partagent plusieurs caractéristiques communes. D'abord, tous les coléoptères sont des insectes holométaboles, c. -à. -d. des insectes qui subissent une métamorphose complète (Marshall, 2018). Par conséquent, les coléoptères passent par quatre stades différents au cours de leur vie : œuf, larve, nymphe et adulte (Whitefield et Purcel, 2012 ; Figure 2). Durant le stade larvaire, les coléoptères sont très différents de la forme adulte et passent la majorité de leur temps à se nourrir. Généralement, les coléoptères passent par trois stades larvaires et subissent une mue entre chaque stade (Marshall, 2018). Bien que la morphologie des larves puisse différer entre les espèces (p. ex : campodéiforme, scarabéiforme, vermiforme,



éruciforme), elles sont toutes caractérisées par l'absence de paires d'ailes (Marshall, 2018). Lorsque les larves atteignent une certaine taille, qui varie selon l'espèce et les conditions environnementales, celles-ci se transforment en nymphes. Le stade nymphal permet aux coléoptères d'obtenir les caractéristiques de sa forme adulte, aussi connue sous le nom d'imago (Whitefield et Purcel, 2012). Une fois adultes, les coléoptères ont une morphologie très diversifiée, mais sont tous caractérisés par la présence de paires d'ailes et d'élytres, ces derniers correspondant à la paire d'ailes antérieures modifiées.



**Figure 2.** Représentation du cycle de vie général des coléoptères (adaptée de Stovall, 2013).

Les coléoptères sont des organismes ectothermes, c.-à-d., qu'ils ne produisent pas ou peu de chaleur interne (Marshall, 2018). Par conséquent, la répartition spatiale

et temporelle des espèces dépend grandement des conditions environnementales, comme la température ambiante. Par exemple, les dermestes (Dermestidae) colonisent principalement les milieux très secs, tandis que le genre *Nicrophorus* (Silphidae) colonise les milieux très chauds (Kocareck, 2003 ; Magni et al., 2015). La répartition spatio-temporelle des coléoptères peut aussi être influencée par la luminosité. En effet, certaines espèces de coléoptères préfèrent les habitats ensoleillés, tandis que d'autres espèces favorisent les habitats plus ombragés (Sharanowski et al., 2008). L'habitat, qui se définit comme l'ensemble des conditions biotiques et abiotiques permettant aux organismes de survivre et de se reproduire, influence également la répartition des coléoptères (Marshall, 2018). Bien que certaines espèces de coléoptères soient généralistes, c.-à-d. qu'elles peuvent coloniser plusieurs types d'habitats différents, d'autres espèces sont spécialistes, c.-à-d. qu'elles peuvent coloniser qu'un seul type d'habitat (Larsen et al., 2013).

En tant qu'organismes ectothermes, les coléoptères du Québec sont particulièrement affectés par l'hiver. En effet, pour survivre aux conditions hivernales, plusieurs espèces de coléoptère ont développé des stratégies pour résister aux températures froides (Lombardero et al., 2000). Pour la majorité des espèces, cette stratégie se traduit par l'entrée en diapause, soit un arrêt programmé de la croissance et de l'activité qui se produit lorsque la température et la photopériode diminuent (Lees, 1955 ; Baust et Rojas, 1985). Ainsi, les coléoptères du Canada et des États-Unis se trouvant dans des zones où l'hiver est très froid, sont généralement inactifs du mois de novembre jusqu'à la fin du mois d'avril (Katovich et al., 2005). De plus, bien que le

stade durant lequel les insectes entrent en diapause puisse varier, la majorité des coléoptères entrent en diapause au stade adulte ou larvaire (Marshall, 2018). D'ailleurs, la photopériode est un élément important, indiquant la saison et le moment d'entrée en diapause hivernale.

## **1.6 COLÉOPTÈRES IMPLIQUÉS DANS LE PROCESSUS DE DÉCOMPOSITION**

Les diptères et les coléoptères nécrophages et nécrophiles sont les deux ordres d'insectes les plus importants dans le processus de décomposition de la matière organique animale. En effet, les membres de ces deux ordres constituent la grande majorité des espèces que l'on retrouve dans les escouades de décomposition, c'est-à-dire un groupe d'espèces qui arrivent à des moments précis du processus de décomposition (Mégnin, 1894). De manière générale, les familles de coléoptères nécrophages et nécrophiles que l'on retrouve sur un corps en décomposition sont les suivantes : Silphidae, Dermestidae, Nitidulidae, Cleridae, Histeridae, Staphylinidae, Tenebrionidae, Latridiidae, Leiodidae, Hydrophilidae, ainsi que les Geotrupidae (Marshall, 2018 ; Byrd et Tomberlin, 2020 ; Maisonhaute et Forbes, 2021). Comme ces familles sont très diversifiées et qu'elles sont au centre de ce projet, il est important de mieux décrire leurs principales caractéristiques biologiques et écologiques.

### 1.6.1 SILPHIDAE

La famille des Silphidae (les silphes) comprend en majorité des espèces nécrophages et nécrophiles, bien que certaines soient phytophages, c.-à-d. qui se nourrissent de matières végétales (Marshall, 2018). De plus, les adultes de la famille des Silphidae peuvent également agir à titre de prédateurs pour les larves de diptères qui colonisent le corps (Nadeau et al., 2015). Contrairement aux adultes, les larves de Silphidae sont uniquement nécrophages, ce qui implique qu'elles vont uniquement se nourrir du cadavre sur lequel elles se trouvent (Nadeau et al., 2015). Les silphes occupent principalement des habitats ombragés, comme des forêts (Anderson, 1982). Au Québec et aux États-Unis, plusieurs espèces de Silphidae sont adaptées aux conditions hivernales et passent l'hiver enfouies dans le sol pour se protéger du froid (Smith, 2002 ; Schnell et al., 2008). Au sein de cette famille, les genres *Nicrodes*, *Nicrophorus* et *Oiceoptoma* sont régulièrement cités par d'autres recherches en entomologie forensique, surtout en Amérique du Nord (Tabor et al., 2004 ; Maisonhaute et Forbes, 2021). Parmi ces trois genres, *Nicrophorus* est celui qui est le plus étudié en raison de son comportement parental unique au sein des coléoptères. En effet, les individus du genre *Nicrophorus* sont connus pour prodiguer des soins parentaux à leurs descendants (Smith, 2002). Pour ce faire, ils enterrent la charogne (lorsque celle-ci est de petite taille) et pondent leurs œufs directement sur celle-ci, procurant un abri et de la nourriture aux jeunes (Marshall, 2018). Lorsque le cadavre est trop gros pour être enterré, les adultes créent un nid sous la terre, non loin du corps,

pour nourrir les larves. Ensuite, lorsqu'elles sont assez âgées, les larves vont se nourrir directement sur le cadavre (Dekeirsschieter et al., 2009). Globalement, des spécimens du genre *Nicrophorus* sont souvent observés sur des scènes de crime (Byrd et Tomberlin, 2020) et peuvent coloniser un corps en décomposition très rapidement (< 24 h), ce qui en fait un groupe important en entomologie forensique (Midgley et al., 2009).

### 1.6.2 DERMESTIDAE

Les coléoptères appartenant à la famille des Dermestidae (les dermestes) sont également importants dans le domaine de l'entomologie forensique. En effet, la majorité des membres de cette famille sont des espèces nécrophages qui se nourrissent de matières animales sèches, comme des cheveux, de la peau, du cuir, des plumes et même des os (Schroeder et al., 2001 ; Marshall, 2018). Au Québec, on retrouve environ 20 espèces différentes de Dermestidae, dont *Dermestes lardarius* L., *Dermestes ater* DeGeer (1774), *Dermestes maculatus* DeGeer (1774), *Anthrenus scrophularia* L., et *Trogoderma inclusum* LeConte (1854). Ces espèces sont reconnues pour causer de nombreux problèmes d'infestation dans les entrepôts de nourriture où elles y trouvent un abri et de la nourriture, par exemple pour survivre aux conditions hivernales difficiles (Schroeder et al., 2001). Par ailleurs, en raison de leur régime alimentaire, les dermestes sont souvent plus actifs durant les derniers stades de décomposition d'un corps (p. ex : *restes secs*) (Magni et al., 2015). De plus, en raison de leur grande tolérance à la sécheresse, les dermestes sont souvent les seuls insectes présents sur les

corps en décomposition dans les régions désertiques (Schroeder et al., 2001 ; Magni et al., 2015).

### 1.6.3 NITIDULIDAE

Les Nitidulidae (nitidules) représenteraient plus de 35 % de tous les coléoptères retrouvés sur un corps en décomposition (Ortloff et al., 2014). Malgré cette abondance élevée, seuls deux genres parmi l'ensemble des Nitidulidae sont nécrophages : *Omosita* et *Nitidula* (Marshall, 2018). Ces deux genres sont connus pour coloniser un corps en fin de décomposition puisqu'ils se nourrissent de matières organiques sèches et d'os (Ortloff et al., 2014 ; Nadeau et al., 2015). Par exemple, Maisonhaute et Forbes (2021) ont observé que l'espèce *Omosita nearctica* Kirejtshuk (1987) colonisait des carcasses de porc au Québec à partir du stade *gonflé* jusqu'à la fin des observations. Par ailleurs, deux autres espèces de Nitidulidae sont retrouvées de manière occasionnelle sur des corps en décomposition, soit *Stelidota geminata* Say (1825) et *Glischrochilus quadrisignatus* Say (1835) (Shubeck et al., 1977). Fait intéressant, l'étude de Maisonhaute et Forbes (2023), a observé la présence de *G. quadrisignatus* sur des cadavres humains. Cependant, malgré la présence fréquente de cette famille, peu d'études se sont intéressées directement à elle (Byrd et Tomberlin, 2020).

#### 1.6.4 CLERIDAE

Les Cleridae appartiennent à une famille aussi nombreuse que diversifiée, avec plus de 3000 espèces à travers le monde (Marshall, 2018). Les membres de la famille des Cleridae sont habituellement des prédateurs, bien que les individus du genre *Necrobia* soient également nécrophages (Hasan et al., 2020). Ces coléoptères représentent parfois un enjeu économique majeur, puisqu'ils peuvent infester des habitations et des denrées alimentaires. Cependant, les Cleridae ne sont pas uniquement néfastes pour l'humain puisqu'ils peuvent être utilisés comme moyen de lutte biologique, notamment contre les scolytes du genre *Dendroctonus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae), qui sont des parasites mortels pour plusieurs arbres (Simmons et Ellington, 1925). Au Québec, deux espèces de Cleridae ont été observées sur des corps en décomposition, soit *Necrobia rufipes* Fabricius (1781) et *Enoclerus nigripes* Say (1823) (Maisonhaute et Forbes, 2021 ; Maisonhaute et Forbes, 2023). Étant donné qu'elle se nourrit principalement de matières organiques sèches, l'espèce *N. rufipes* est généralement active sur un corps à partir du stade de *décomposition active* (Nadeau et al., 2015 ; Hasan et al., 2020). Cependant, au Québec les Cleridae ont été observés seulement à partir du stade de *décomposition avancée* (Maisonhaute et Forbes, 2021). De plus, *N. rufipes* peut également se nourrir de larves d'autres arthropodes, ce qui en fait une espèce à la fois prédatrice et nécrophage (Hasan et al., 2020).

### 1.6.5 HISTERIDAE

La famille des Histeridae compte de nombreuses espèces à travers le monde, dont la majorité sont des espèces nécrophiles (Marshall, 2018) qui se nourrissent principalement de larves de diptère (Majka, 2008). Bien qu'au Canada, on compte environ 135 espèces d'Histeridae différentes, très peu de recherches ont été effectuées concernant leurs caractéristiques biologiques et écologiques (Bousquet et Laplante, 2006). Au sein de cette famille, le genre *Hister* est celui qui est le plus souvent présent sur des corps en décomposition, généralement du stade *gonflé* jusqu'au stade de *restes secs* (Byrd et Tomberlin, 2020). Au Québec, les membres de cette famille ont plutôt été observées du stade *frais* jusqu'au stade de *restes secs* (Maisonhaute et Forbes, 2021 ; Maisonhaute et Forbes, 2023). L'une des particularités des espèces de ce genre est qu'elles sont des prédatrices nocturnes, autant au stade larvaire qu'au stade adulte, et qu'elles ont tendance à s'immobiliser lorsqu'elles sont perturbées (Byrd et Tomberlin, 2020). Ainsi, en raison de leur comportement, leur collecte manuelle est souvent difficile, bien que l'utilisation de pièges-fosses permette de pallier cette limitation (Byrd et Tomberlin, 2020).

### 1.6.6 STAPHYLINIDAE

À ce jour, la famille des Staphylinidae est celle qui regroupe le plus grand nombre d'espèces parmi toutes les autres familles d'espèces vivantes (Marshall, 2018).



Seulement en Amérique du Nord, on compte plus de 2000 espèces de staphylins, dont la plupart sont des prédateurs, autant durant le stade larvaire que durant le stade adulte (Downie et Arnett, 1996 ; Rodriguez et al., 2018). De plus, cette famille comprend également des espèces détritivores et des espèces de décomposeurs (Byrd et Tomberlin, 2020). De manière générale, les staphylins sont présents tout au long du processus de décomposition, du moment qu'il y a encore des proies présentes sur les cadavres (Marshall, 2018). Bien que l'on compte de nombreuses sous-familles au sein des Staphylinidae, celle des Staphylininae est celle que l'on retrouve le plus souvent sur les cadavres en décomposition, puisqu'elle est fortement associée à la décomposition de la matière organique animale (Marshall, 2018). Au Québec, *Creophilus maxillosus* L., est fréquemment observée sur les corps en décomposition et possède un intérêt particulier en entomologie forensique puisqu'elle peut coloniser un corps quelques heures seulement après le décès (Byrd et Tomberlin, 2020).

#### 1.6.7 AUTRES COLÉOPTÈRES ASSOCIÉS AUX CADAVRES EN DÉCOMPOSITION

Outre les six familles de coléoptères nécrophages et nécrophiles mentionnées précédemment, d'autres familles de coléoptères peuvent coloniser un corps en décomposition et s'avérer utiles en entomologie forensique. Par exemple, la famille des Geotrupidae forme un petit groupe de coléoptère parfois associé aux corps en décomposition. Leur capacité à creuser de petits tunnels dans le sol pour pondre et

élever leurs larves est une caractéristique distinctive de cette famille (Marshall, 2018). De plus, les adultes sont généralement nocturnes et fortement attirés par la lumière (Webster et al., 2012). On les trouve dans des habitats très variés (p. ex : déserts, forêts, prairies ; Galante et al., 1991 ; Li et al., 2012) et leur alimentation varie grandement entre les espèces (p. ex : saprophage, coprophage, mycophage ; Webster et al., 2012).

Une autre famille qui est parfois observée en entomologie forensique est celle des Hydrophilidae. Il s'agit d'une famille qui comprend environ 3000 espèces et qui colonise presque toutes les parties du monde (Marshall, 2018). La famille des Hydrophilidae se distingue d'autres familles par sa capacité à coloniser les milieux aquatiques et semi-aquatiques, telle que des rivières, des marais ou des masses d'eau stagnante (Fikáček et al., 2010). Bien que la plupart des membres de cette famille soient aquatiques, il y a tout de même certaines espèces qui peuvent coloniser les milieux terrestres (Marshall, 2018). En effet, certaines espèces terrestres vont peuvent se retrouver dans la litière ou sur de la matière organique en décomposition (Fikáček et al., 2010). De manière générale, les larves se nourrissent de proies vivantes, tandis que les adultes consomment de la matière organique animale (Fikáček et al., 2010 ; Marshall, 2018).

La famille des Latridiidae comprend environ 1000 espèces différentes (Marshall, 2018). La plupart des membres de cette famille vivent dans des milieux humides, principalement dans la litière forestière, bien qu'ils puissent aussi coloniser divers milieux où les champignons poussent (Otero et Ghahari, 2017). Bien que les

Latridiidae se nourrissent généralement de petits champignons, certaines espèces peuvent consommer de la matière organique animale (Marshall, 2018).

Les Leiodidae forment une petite famille de coléoptères qui comprend environ 350 espèces en Amérique du Nord (Majka et Langor, 2008). Les membres de cette famille colonisent majoritairement les grottes, la litière forestière et la matière organique qui se trouve au sol (Marshall, 2018). La plupart des espèces de cette famille se nourrissent de matière organique animale ou de champignons (Marshall, 2018).

La famille des Scarabaeidae compte plus de 30 000 espèces (Marshall, 2018). Cette famille est si diversifiée qu'elle colonise tous les types d'habitats, et ce, partout à travers le monde. Au sein de cette famille, certaines espèces sont nécrophages et nécrophiles (Webster et al., 2012).

Finalement, la famille des Tenebrionidae compte environ 1200 espèces différentes en Amérique du Nord, bien que seulement 140 espèces soient recensées au Canada (Bousquet et Campbell, 1991, Majka et al., 2008). La majorité des espèces que l'on retrouve au Canada habitent au sein de forêts où ils peuvent trouver du bois mort (Webster et al., 2012). De plus, les membres de cette famille sont généralement bien adaptés aux environnements secs, bien qu'on les retrouve dans presque tous les types de milieux (Marshall, 2018). Quelques-unes des espèces de la famille des Tenebrionidae peuvent également se nourrir de matières organiques animales (Marshall, 2018).

## 1.7 OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

L'objectif principal de cette étude était de déterminer quelle est la structure des communautés de coléoptères nécrophages et nécrophiles au Québec au cours du processus de décomposition d'un corps. Pour ce faire, la présente étude visait à 1) découvrir quelles espèces sont présentes au Québec et étudier la dynamique des populations afin de déterminer lesquelles sont présentes lors de chacun des stades de décomposition (à quel moment elles arrivent et à quel moment elles partent), 2) comparer les espèces de coléoptères présentes et les périodes de colonisation sur cadavres humains et porcins et 3) déterminer les facteurs influençant la présence de coléoptères nécrophages et nécrophiles du Québec lors de la colonisation d'un corps en décomposition.

En ce qui concerne notre premier objectif, nous avons émis comme hypothèse que la diversité des coléoptères nécrophages et nécrophiles retrouvée sur cadavres porcins devrait être globalement similaire à celles retrouvées dans des provinces canadiennes proches du Québec. Cette hypothèse est supportée par le fait que les conditions géo-climatiques du Québec étant proches de celles retrouvées en Ontario, il est fort probable que l'on y retrouve principalement les mêmes espèces de coléoptères nécrophages et nécrophiles (LeBlanc, 2008 ; Maisonhaute et Forbes, 2021).

Pour ce qui est de notre deuxième objectif, nous avons émis comme hypothèse qu'il va exister des différences entre les espèces de coléoptères nécrophages et nécrophiles qui colonisent les cadavres porcins et les cadavres humains. Cette

hypothèse est supportée par le fait que la morphologie et la physiologie des humains et des cochons présentent des différences notables, il devrait donc également exister des différences au niveau des espèces qui colonisent chacun des types de corps (Matuszewskie et al., 2020 ; Knobel et al., 2019).

Concernant notre dernier objectif, nous avons émis l'hypothèse qu'il devrait y avoir une différence entre les communautés de coléoptères nécrophages et nécrophiles qui colonisent des corps exposés à une forte intensité lumineuse et celles exposées à une plus faible intensité lumineuse. Cela est supporté par le fait que certaines familles de coléoptères, telles que les Scarabaeidae, ne se retrouvent que rarement sur des corps exposés à une faible intensité lumineuse. De même, certaines familles, comme les Histeridae, vont coloniser des corps exposés à une faible intensité lumineuse, alors qu'ils ne viendraient pas sur un corps exposé à une intensité lumineuse plus forte (Sharanowski et al., 2008).

## 2. MÉTHODOLOGIE

### 2.1 AIRE D'ÉTUDE

Nous avons mené cette étude sur le site sécurisé REST[ES] (Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales]) situé dans la ville de Bécancour au Québec (Canada). Affilié à l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR), le site REST[ES] a été mis en place pour étudier le processus de décomposition des cadavres au Canada. Le site, qui couvre une superficie d'environ 1 600 m<sup>2</sup>, est caractérisé par un terrain plat (inclinaison < 2°) et un sol limono-sableux (Pecsi et al., 2020). Le site se trouve au sein d'une jeune forêt mixte (30 – 50 ans) dominée par des érables (*Acer* spp.) et des épinettes blanches (*Picea glauca*) (Pecsi et al., 2020). La faune locale comprend des carnivores, comme le coyote (*Canis latrans*) et le vautour fauve (*Gyps fulvus*) ainsi que des omnivores, comme l'ours noir (*Ursus americanus*), la moufette rayée (*Mephitis mephitis*) et les corvidés (*Corvidae* spp.) (Séguin et al., 2021).

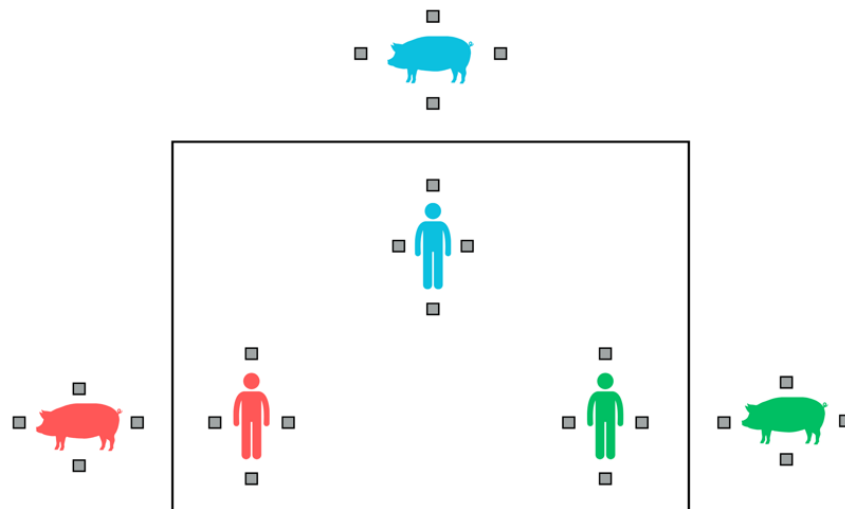
Le site est doté de plusieurs systèmes de sécurité pour limiter les perturbations potentielles et préserver la dignité et l'intégrité des donneurs. Des clôtures de 7 m de haut (enfouies jusqu'à 60 cm sous la surface du sol), munies de fils bardés horizontaux et de toiles opaques, ont été installées autour du site pour empêcher les visiteurs humains et les animaux d'y accéder. Des clôtures électriques ont également été ajoutées

à la périphérie du site pour entraver le passage des grands carnivores, comme l'ours noir et le coyote. Par ailleurs, des caméras de surveillance infrarouge placées dans des structures protectrices chauffées couvrent la superficie du site. L'accès au site est restreint au personnel autorisé, ayant suivi une formation sur la sécurité et les pratiques éthiques en vigueur. Finalement, tous les donneurs humains sont placés dans des cages grillagées afin de préserver l'intégrité des donneurs et d'éviter la dispersion des restes.

## **2.2 DISPOSITION DES CADAVRES PORCINS ET DES DONNEURS HUMAINS**

Dans le cadre de ce projet, nous avons collecté des données sur un total de six cadavres, soit trois cadavres porcins et trois donneurs humains (Figure 3).

### Site REST[ES]



**Figure 3.** Représentation schématique de la disposition des cadavres porcins et des donneurs humains sur le site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada) durant l'été 2021. L'encadré représente l'enceinte sécurisée. Les icônes vertes, bleues et rouges représentent les paires humains-cochons numéros 7, 8 et 9 respectivement. Les carrés gris correspondent aux pièges-fosses.

Les cadavres porcins provenaient tous de la boucherie Côté située à Sainte-Eulalie (Québec, Canada). Les animaux étaient tués avant l'arrivée sur le site REST[ES] selon le protocole du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Tous les cadavres porcins étaient des femelles et pesaient approximativement 70 kg pour minimiser les biais potentiels liés au sexe et au poids des individus. Les donneurs humains provenaient exclusivement du programme de don de corps volontaire du Laboratoire d'anatomie de l'UQTR. Cette recherche a été approuvée par le sous-comité d'éthique du laboratoire d'enseignement et de recherche en anatomie de



l'Université du Québec à Trois-Rivières, (certificat CER-19-261-07.10). Les caractéristiques identitaires (p. ex : âge, sexe à la naissance), physiques (p. ex : taille, masse corporelle) et médicales (p. ex : prise de médicaments, cause du décès) variaient entre les donneurs (Tableau 1). Chaque corps était numéroté (de 7 à 9 dans le cadre de la présente étude) et chaque donneur humain était associé à un analogue porcin. Dans l'objectif d'éviter les biais, les deux types de corps étaient réfrigérés 24 heures avant d'être déposés sur le site REST[ES]. Pour que la comparaison entre les deux types de corps soit fiable, les paires humain – cochon devaient être déposées durant les mêmes périodes et la distance entre une paire humain – cochon devait être inférieure à la distance entre deux humains (Tableau 2). Une cage grillagée permettant uniquement le passage des insectes recouvrait également chacun des six corps pour les protéger des perturbations potentielles par la faune locale. Les donneurs humains étaient déposés sur le dos et nus et les cadavres des cochons étaient déposés sur le côté.

**Tableau 1.** Informations sur les conditions physiques et médicales des donneurs du site REST[ES] (Québec, Canada), au cours de l'été 2021.

<b>Caractéristiques</b>	<b>Donneur #7</b>	<b>Donneur #8</b>	<b>Donneur #9</b>
Âge (ans)	91	93	72
Sexe	Homme	Femme	Femme
Taille (cm)	170	153	155
Poids (kg)	80	60	65,7
Indice de masse corporelle (IMC)	27,6	25,6	27,8
Date du décès	22 juin 2021	9 juillet 2021	30 juillet 2021
Cause du décès	Cancer du poumon et de la prostate	Déconditionnement (sédentarité), thrombose des membres inférieurs probable, démence	Arythmie maligne
Médication	Non disponible	Synthroid et médicaments pour dormir	Pregabalin, Mylan-nitro

**Tableau 2.** Date d'arrivée des paires humain – cochon et distance (m) séparant chaque paire humain – cochon sur le site REST[ES], Bécancour, Québec (Canada), été 2021.

<b>Pair humain – cochon</b>	<b>Date d'arrivée</b>	<b>Distance (m)</b>
7	Humain : 23 juin 2021	10
	Cochon : 6 juin 2021	
8	Humain : 10 juillet 2021	13
	Cochon : 7 juillet 2021	
9	Humain : 1 <sup>er</sup> août 2021	12
	Cochon : 4 août 2021	

## 2.3 COLLECTE DES DONNÉES

Au cours de l'étude, la fréquence de la prise de données variait en fonction du stade de décomposition des corps et de l'intensité de l'activité des insectes. Durant le premier stade de décomposition (*frais*), les données relatives à la décomposition et les données entomologiques étaient récoltées deux fois par jour afin d'identifier correctement les premières espèces colonisatrices. Durant le deuxième stade (*gonflé*) et troisième stade (*décomposition active*) de décomposition, la collecte des données se faisait sur une base quotidienne en raison de l'intensité relativement élevée de l'activité des insectes. Au cours du quatrième stade (*décomposition avancée*) et du cinquième stade (*restes secs*) de décomposition, la fréquence de la collecte des données a diminué à trois fois par semaine et à une fois par semaine respectivement en raison de la diminution graduelle de l'intensité de l'activité des insectes. À chaque visite, une rotation dans l'ordre d'échantillonnage des cadavres porcins et des donneurs humains était effectuée pour minimiser les biais potentiels liés à l'heure de la collecte des données.

### 2.3.1 DÉCOMPOSITION

Pour chacun des six corps, l'état général de décomposition (p. ex : coloration de la peau, présence d'os) était évalué en utilisant une échelle de notation du corps (traduit de l'anglais « body scoring ») adaptée à chaque espèce. Nous avons utilisé

l'échelle de notation du corps de Megyesi et *al.*, (2005) pour les donneurs humains et celle de Keough et *al.*, (2017) pour les cadavres porcins. Nous procédions ensuite à une inspection complète du corps pour noter des informations complémentaires, comme la présence de lésions corporelles. Pour chaque corps, des photographies étaient prises (corps entier, tête, torse, bras et jambes) pour valider l'état et le stade de décomposition.

### 2.3.2 DONNÉES ENTOMOLOGIQUES

Les données entomologiques, qui étaient récoltées en fonction du degré de décomposition, ont été récoltées selon deux méthodes. Premièrement, quatre pièges-fosses remplis à la moitié d'eau savonneuse étaient disposés à environ un mètre autour de chaque cadavre : un au niveau de la tête, deux au niveau de l'abdomen (un de chaque côté) et un au niveau des pieds ou de l'arrière-train. Les pièges-fosses étaient relevés à la même fréquence que les observations pour en collecter les spécimens qui étaient ensuite triés en laboratoire puis conservés au congélateur pour une identification future. Deuxièmement, nous avons effectué un échantillonnage visuel des insectes visibles sur chacun des corps en plus d'un prélèvement de certains spécimens pour confirmer notre identification. Pour chaque espèce ou famille présente, et pour chaque stade (larve ou adulte), l'abondance approximative était notée.

### 2.3.3 DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

Parallèlement aux données de décompositions et entomologiques, des données environnementales étaient récoltées quotidiennement pour évaluer l'influence de différentes variables sur le processus de décomposition. La température ambiante (°C) et les précipitations (mm de pluie) journalières étaient enregistrées à l'aide d'une station météorologique (Hobo U30 Station NO Remote Communication, Onset Computer Corporations) située sur le site REST[ES]. Le nombre de degrés-jours accumulés a été calculé en additionnant la température moyenne de chacun des jours à partir du jour 0 jusqu'à la fin de nos observations. Une sonde de luminosité (HOB0 data logger Pendant UA Temp/Light) était également attachée à chacune des cages grillagées pour évaluer l'intensité lumineuse (lux) sur chaque corps.

## 2.4 IDENTIFICATION DES INSECTES

Tous les insectes récoltés ont été identifiés à l'aide du guide d'identification de Whitefield et Purcell (2012), de celui de Byrd et Tomberlin (2020) et de la collection de référence de l'Université du Québec à Trois-Rivières, qui est basée sur l'étude de Maisonhaute et Forbes, (2021). Plusieurs spécimens ont également été envoyés au Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection du MAPAQ pour confirmer les identifications. Une fois identifiés, les insectes étaient transférés dans une fiole contenant de l'alcool à friction isopropylique de 70 % pour les préserver à long terme.

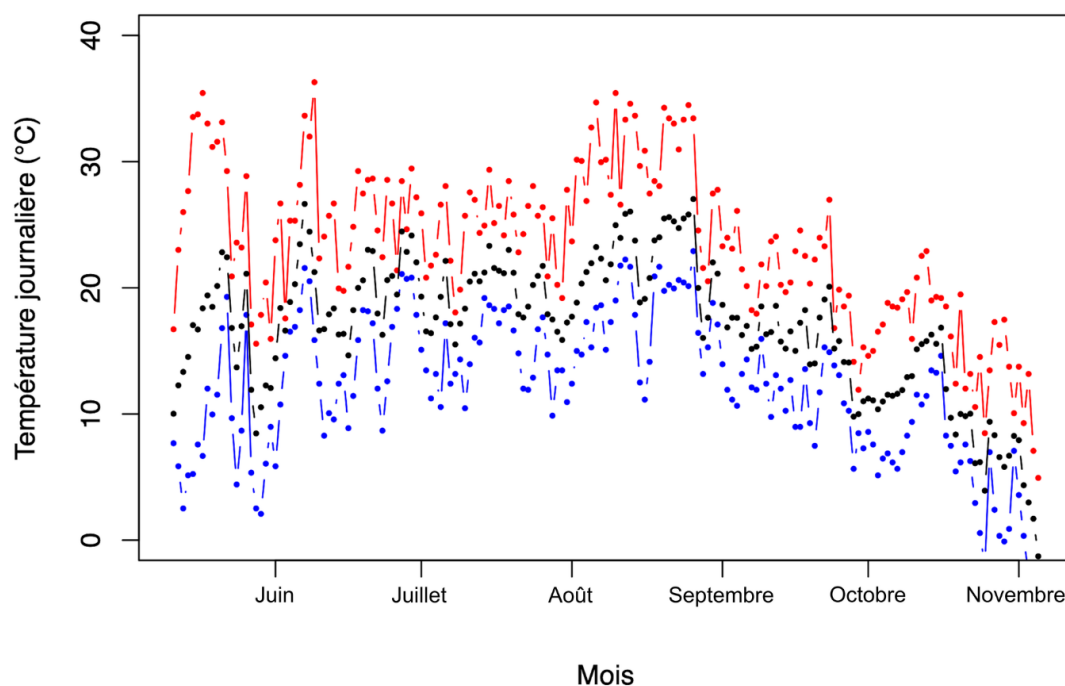
## 2.5 ANALYSE DES DONNÉES

Pour visualiser le processus de décomposition, nous avons réalisé un diagramme comprenant la durée en jours de chacun des stades de décomposition et cela pour chacun de nos cadavres humains et porcins. Pour ce qui est de notre communauté sur cadavres humains et porcins, nous avons réalisé les graphiques en calculant la moyenne des premiers jours d'observation et la moyenne des derniers jours d'observation pour chacune des espèces observées. Nous avons aussi effectué une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (le type de corps et les espèces) pour comparer l'abondance journalière de chaque espèce de coléoptère trouvée sur les donneurs humains à celle trouvée sur les cadavres porcins. Dans l'objectif d'évaluer l'impact des facteurs environnementaux (température ambiante, précipitations, luminosité et degrés-jours accumulés) sur l'abondance de nos espèces, nous avons réalisé une régression de Poisson. Nous avons effectué ce type de régression puisqu'elle est mieux adaptée pour estimer le nombre de fois où une espèce est observée sur une période déterminée (Moreau, 2021). Nous avons également effectué une analyse de redondance canonique (RDA) pour évaluer l'effet de l'ensemble des facteurs environnementaux (luminosité moyenne, pluviométrie, degrés-jours, type de corps et l'échelle de notation de décomposition du corps) sur l'abondance de notre communauté de coléoptères (Weithmann et al., 2020). Les analyses statistiques ont été réalisées dans le logiciel R 4.2.1. (R Core Team, 2021).

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1 DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

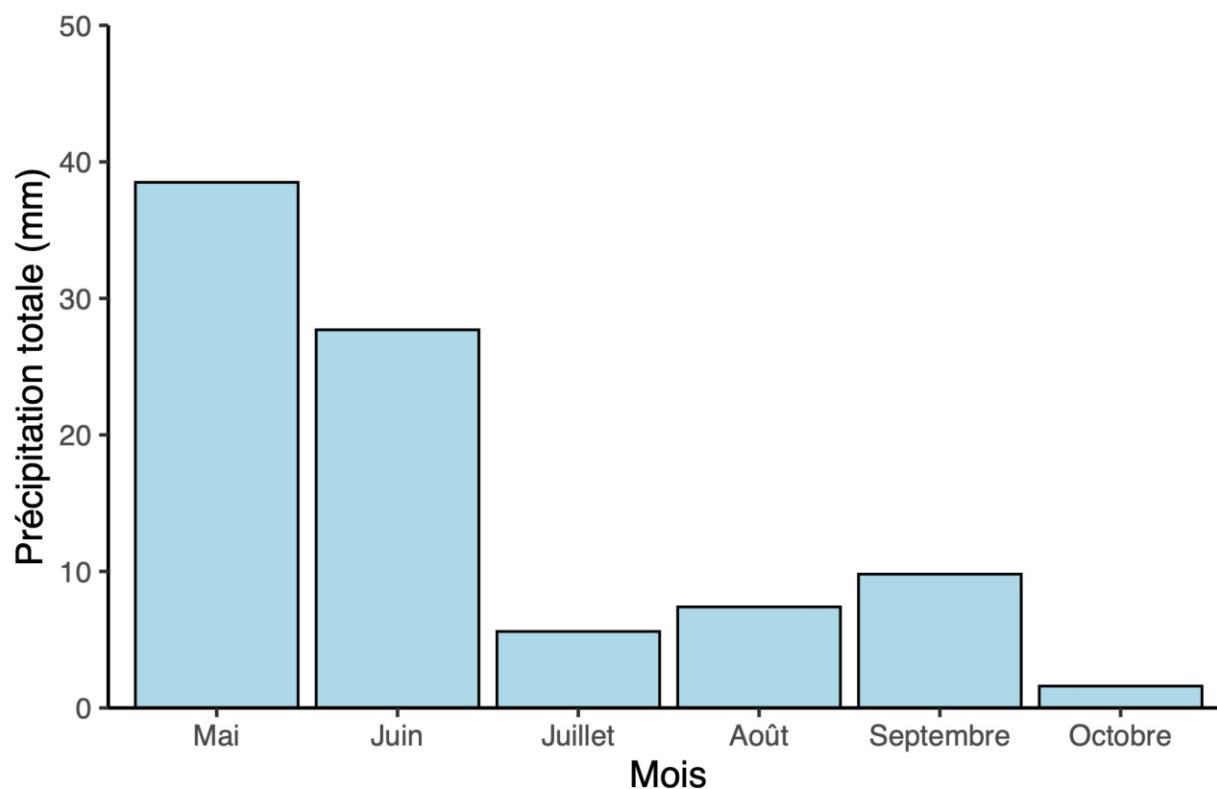
Du 20 mai au 18 octobre 2021, nous avons mesuré trois variables environnementales sur le site d'étude : la température (°C ; Figure 4), la pluviométrie (mm ; Figure 5) et la luminosité (lux ; Figure 6). Au cours de cette période, la température moyenne journalière était de  $18,5 \pm 4,0$  °C (moyenne  $\pm$  écart-type), avec une température minimale moyenne journalière de  $14,0 \pm 4,3$  °C et un maximum moyen journalier de  $24,5 \pm 5,2$  °C. Nous avons enregistré une température minimale de 5,0 °C le 3 octobre et une température maximale de 36 °C le 9 juin. Nous avons également enregistré la température interne des corps. Pour les cadavres porcins, leur température interne variait entre 16 °C et 45 °C avec une température moyenne de  $25,0 \pm 7,5$  °C. Concernant les donneurs humains, celle-ci variait entre 16 °C et 41 °C, avec une température moyenne de  $27,8 \pm 6,5$  °C. Cependant, nos sondes de température internes ont éprouvé de nombreux dysfonctionnements au cours de notre étude, ce qui ne nous permet pas d'analyser avec précision les résultats en lien avec les températures internes des corps.



**Figure 4.** Température moyenne journalière (°C ; points noirs), température minimale journalière (°C ; points bleus) et température maximale journalière (°C ; points rouges) enregistrées par les sondes sur le site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de mai à novembre 2021.

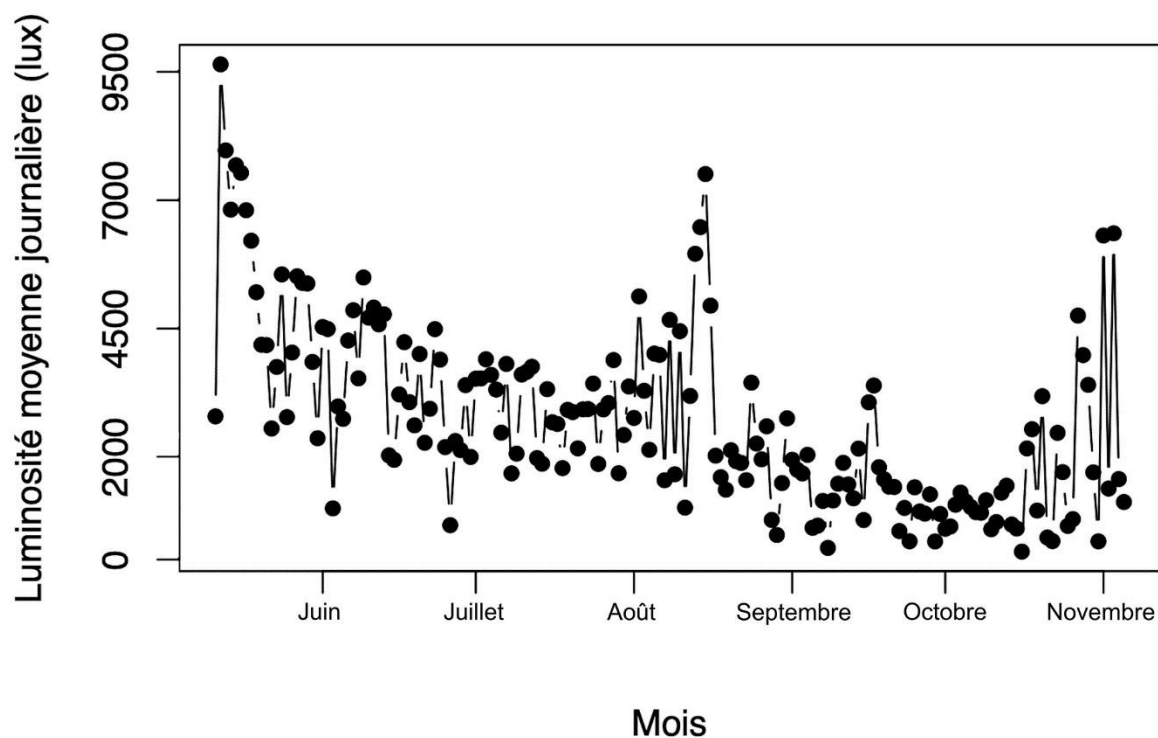
Les précipitations moyennes journalières sur la période d'étude étaient de 3 mm de pluie, avec des précipitations maximales de 27 mm enregistrées le 25 mai. Les mois de juillet, août et septembre étaient ceux où les précipitations totales étaient les plus faibles avec 6 mm, 7 mm et 10 mm de pluie respectivement. Quant à eux, les mois de mai et juin étaient les mois les plus pluvieux, avec respectivement 38 mm et 28 mm de pluie totale.





**Figure 5.** Distribution des précipitations enregistrées par la station météorologique sur le site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de mai à octobre 2021.

Concernant la luminosité, nous avons enregistré une luminosité moyenne comprise entre 772 lux et 7510 lux. Durant toute la durée de notre étude, la moyenne de luminosité était de  $2566 \pm 1476$  lux. Par ailleurs, nous avons noté deux pics de luminosité importants au cours de l'étude (le 9 juin et le 15 août), avec respectivement une valeur de 5496 lux et une autre de 7510 lux. De plus, la luminosité moyenne relevée de juin à la mi-août ( $3260 \pm 1273$  lux) était nettement supérieure à celle enregistrée de la mi-août à octobre ( $1449 \pm 863$  lux).



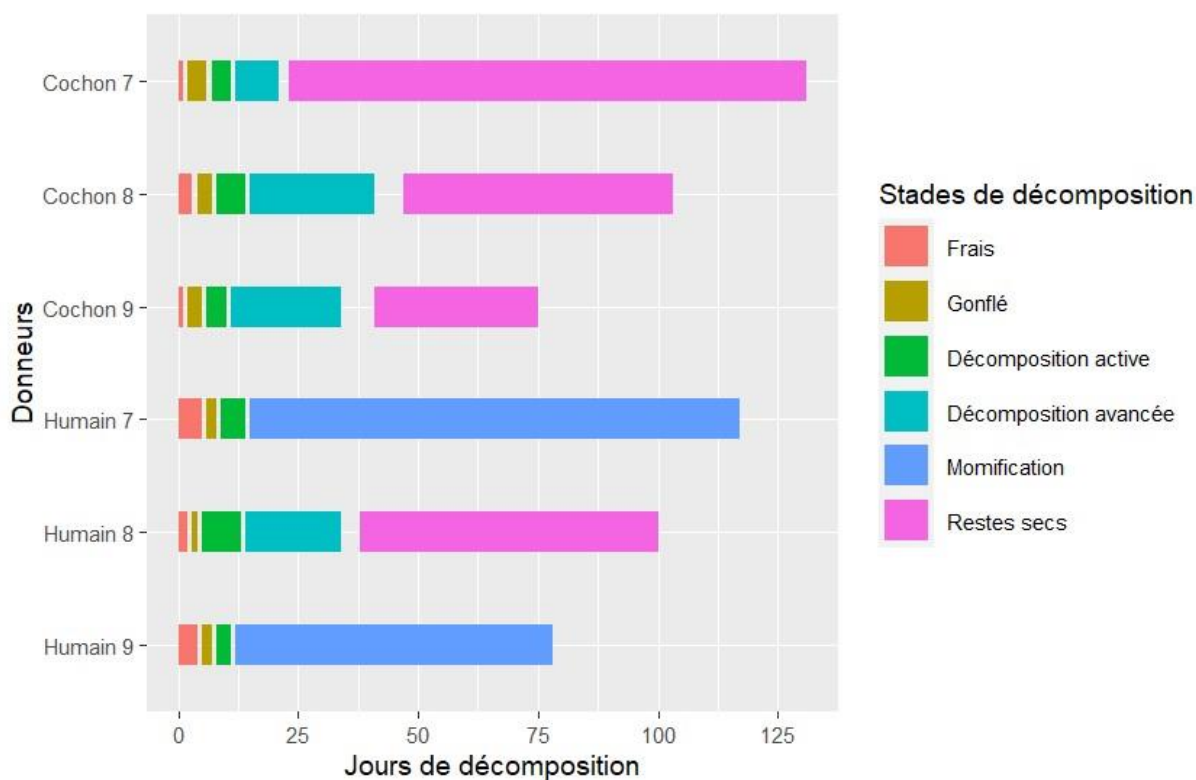
**Figure 6.** Luminosité moyenne journalière (lux) enregistrée sur le site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de mai à novembre 2021.

### 3.2 RÉSULTATS DE DÉCOMPOSITION

Dans l'objectif d'illustrer les processus de décomposition, nous avons représenté la durée des stades de décomposition pour chacun des cadavres que nous avons étudiés lors de ce projet (Figure 7). Ainsi, nos résultats montrent que la durée du stade *frais* était généralement plus longue chez les cadavres humains ( $3,67 \pm 1,5$  jours en moyenne, min = 2 jours, max = 5 jours) que chez

les cadavres porcins ( $1,67 \pm 1,2$  jours en moyenne, min = 1 jour, max = 3 jours). Au niveau de la variation de la durée du stade de décomposition, celle-ci était similaire entre les cadavres humains et porcins. À l'inverse du stade *frais*, le stade *gonflé* était généralement plus court chez les cadavres humains ( $2,67 \pm 0,6$  jours en moyenne, min = 2 jours, max = 3 jours) que chez les cadavres porcins ( $3,33 \pm 0,6$  jours en moyenne, min = 3 jours, max = 4 jours). Dans le cas du stade *gonflé*, le niveau de variation de la durée était identique chez les cadavres humains et porcins. Concernant le stade de *décomposition active*, il était légèrement plus long chez les cadavres humains ( $5,33 \pm 2,5$  jours en moyenne, min = 3 jours, max = 8 jours) que chez les cadavres porcins ( $4,66 \pm 1,2$  jours en moyenne, min = 4 jours, max = 6 jours). Cependant, l'intervalle de la durée du stade de *décomposition active* était plus étendu chez les cadavres humains. Pour ce qui est du stade de *décomposition avancée*, comme un seul donneur humain (donneur #8) est passé par ce stade, nous pouvons seulement nous baser sur les résultats obtenus pour celui-ci. En effet, les deux autres donneurs humains (donneur #7 et donneur #9) sont passés par le processus de *momification*. Ainsi, nous pouvons noter que la durée du stade de *décomposition avancée* était de 20 jours pour l'humain, alors qu'elle était de  $19,33 \pm 9,1$  jours en moyenne (min = 9 jours, max = 26 jours) pour nos cadavres porcins. Cela nous laisse donc croire que la durée de ce stade de décomposition est assez similaire entre cadavres humains et porcins. Cependant, il est important de noter que la variation entre les cadavres porcins est assez élevée. Pour ce qui est du stade de *restes secs*, le même phénomène a eu lieu, ce qui nous laisse uniquement avec un cadavre humain contre trois cadavres porcins pour valider nos observations. Ainsi, nous pouvons constater que la durée du stade de *restes secs* était de 68 jours pour le donneur humain alors qu'elle était de  $65,66 \pm 38,4$  jours en moyenne (min = 33 jours, max = 108 jours) pour les cadavres porcins. Encore une fois, les résultats sont assez similaires entre les humains et les cochons. Cependant, tout comme pour le stade de

*décomposition avancée*, la variation entre les cadavres porcins est très élevée. Finalement, en ce qui concerne la *momification* des deux donneurs humains, il nous est difficile de comparer les résultats obtenus avec les cadavres porcins puisqu'aucun d'entre eux n'est passé par ce processus. Cependant, nous pouvons observer que ce stade commençait en moyenne 13,5 jours après le décès avec une valeur minimale de 12 jours et une valeur maximale de 15 jours. Une fois le stade de *momification* atteint, les cadavres humains demeuraient à ce stade jusqu'à la fin de notre étude



**Figure 7.** Stade de décomposition des cadavres humains et porcins en fonction des jours de décomposition sur le site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. Les espaces entre certains stades sont causés par les délais d'échantillonnage.

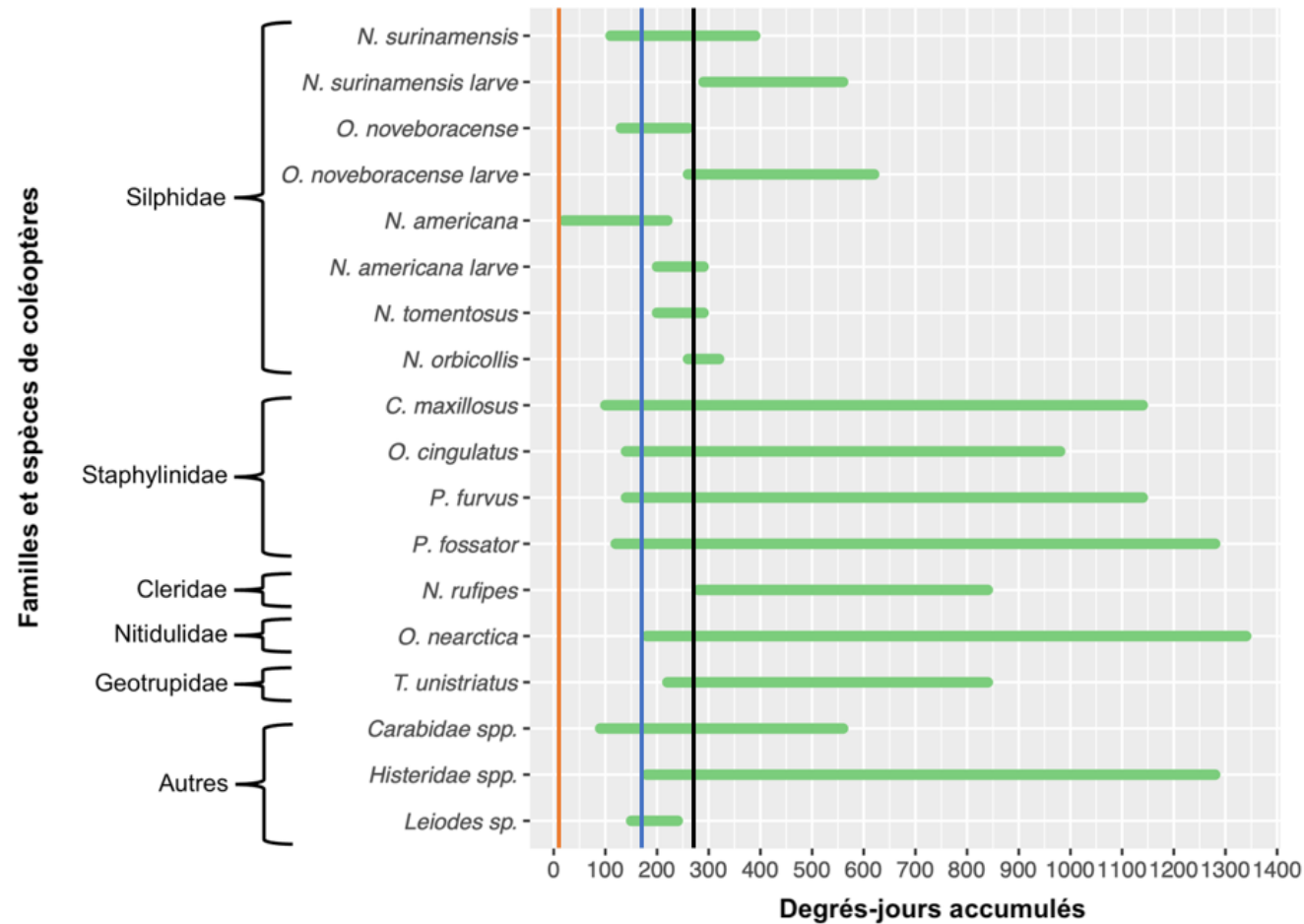
En plus d'évaluer le niveau de décomposition à l'aide des stades de décomposition, nous avons également utilisé la méthode de « Total Body Scoring » ou TBS : celui élaboré dans l'étude de Megyesi et al., (2005) pour les donneurs humains et celui élaboré dans l'étude de Keough et al., (2017) pour les cadavres porcins. Dans l'étude de Megyesi et al., (2005) les valeurs vont de 1 à 13 pour la tête, de 1 à 12 pour le corps et de 1 à 10 pour les membres. Pour ce qui est de l'article de Keough et al., (2017) les valeurs vont de 1 à 13 pour la tête, de 1 à 12 pour le corps et de 1 à 10 pour les membres. Concernant nos donneurs humains, au niveau de la décomposition de la tête, le donneur #8 est celui qui se décomposait le plus rapidement, en atteignant une valeur de 11 après 13 jours. Comparativement, la tête du donneur #7 atteignait la valeur de 9 (la plus grande valeur pour ce donneur) après 40 jours et le donneur #9 atteignait la valeur de 11 après 38 jours. Pour ce qui est de l'abdomen, encore une fois notre donneur qui se décomposait le plus rapidement était le donneur #8, qui atteignait une valeur de 8 après seulement 27 jours. À titre de comparaison, le donneur #7 atteignait cette valeur après 64 jours et le donneur #9 atteignait une valeur de 6 (la plus grande valeur pour ce cadavre) après 25 jours. En ce qui concerne les membres, le donneur #8 atteignait la valeur maximale de 7 après 21 jours. Pour comparer, le donneur #7 atteignait cette valeur après 64 jours et le donneur #9 atteignait une valeur de 5 (la plus grande valeur atteinte) après 15 jours.

Concernant nos cadavres porcins, nous avons observé que le cochon #7 était celui qui se décomposait le plus rapidement au niveau de la tête. En effet, la tête de celui-ci était totalement décomposée après 43 jours, alors que cela avait pris 76 jours pour le cochon #8. Quant au cochon #9, il est difficile de le comparer avec les deux autres puisqu'il n'a jamais atteint la dernière valeur du TBS, que ce soit pour la tête, l'abdomen ou les membres. En revanche, il suivait le même rythme que les autres cochons jusqu'au jour 12. Après ce jour, il n'y avait pratiquement plus

d'avancement dans son processus. Pour ce qui est de la décomposition de l'abdomen, nos résultats s'inversent puisque cette fois c'est le cochon #8 qui s'est décomposé le plus rapidement. Celui-ci avait atteint la dernière valeur du TBS après 48 jours alors que cela avait pris 64 jours pour le cochon #7. Finalement, pour les membres, nos résultats indiquent que cette fois la décomposition du cochon #7 était plus rapide et atteignait la dernière valeur de TBS après 22 jours de décomposition. En comparaison, le cochon #8 atteignait cette valeur après 62 jours.

### 3.3 ANALYSES DES COMMUNAUTÉS DE COLÉOPTÈRES

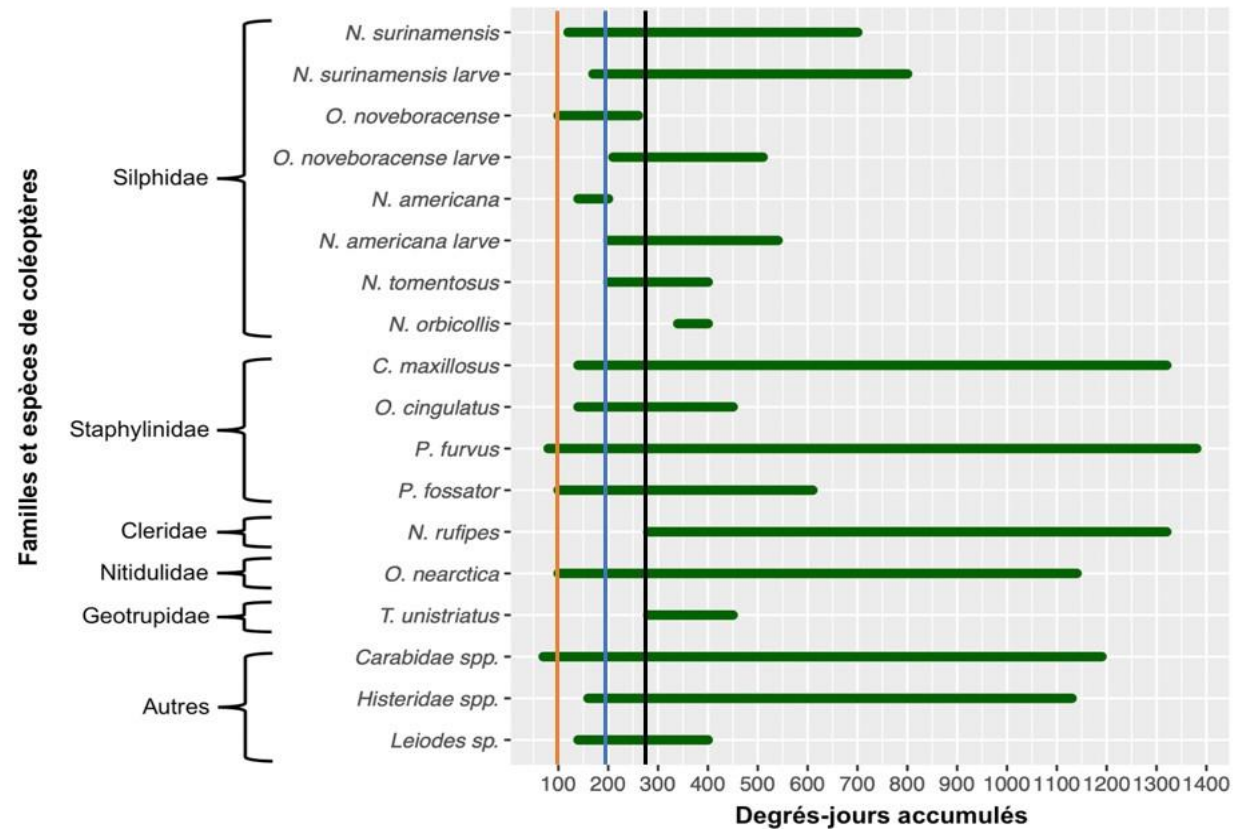
Nos résultats montrent que 18 groupes de coléoptères nécrophages et nécrophiles ont colonisé les cadavres porcins (Figure 8). Parmi ceux-ci, seuls six groupes de coléoptères étaient présents tout au long du processus de décomposition : *Necrodes surinamensis* (Fabricius 1775), *C. maxillosus*, *Ontholestes cingulatus* (Gravenhorst 1802), *Philonthus furvus* (Nordmann 1837), *Platydracus fossator* (Gravenhorst 1802) et les Carabidae. La première escouade de coléoptères colonisant les cadavres porcins était composée d'une seule espèce, soit *Necrophila americana* L. Cette escouade colonisait les cadavres porcins après seulement 20 degrés-jours (soit après seulement un jour). La deuxième escouade était composée de sept groupes de coléoptère : *Oiceoptoma noveboracense* (Forster 1771), les larves de *N. americana*, *Nicrophorus tomentosus* (Weber 1801), *O. nearctica*, *Trox unistriatus* (Beauvois 1805), les Histeridae et *Leiodes* sp. (Leiodidae). La deuxième escouade colonisait les cadavres porcins après environ 200 degrés-jours soit environ neuf jours. La troisième et dernière escouade regroupait quatre groupes de coléoptère : les larves de *N. surinamensis*, les larves d'*O. noveboracense*, *Nicrophorus orbicollis* (Say 1825) ainsi que *N. rufipes*. La troisième escouade, quant à elle, colonisait les cadavres porcins après environ 270 degrés-jours soit environ 13 jours.



**Figure 8.** Structure de la communauté de coléoptères nécrophages et nécrophiles sur cadavres porcins en fonction du nombre de degrés-jours accumulés, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. Les lignes verticales marquent l'arrivée des trois escouades de décomposition (orange : première escouade ; bleue : deuxième escouade ; noire : troisième escouade).

Nos résultats indiquent que 18 groupes de coléoptères nécrophages et nécrophiles ont colonisé les cadavres humains (Figure 9). Parmi ces groupes d'insectes, huit étaient présents durant toutes les étapes du processus de décomposition : *N. surinamensis*, *C. maxillosus*, *O. cingulatus*, *P. furvus*, *P. fossator*, *O. nearctica*, les Carabidae et *Leiodes* sp. La première escouade regroupait deux espèces de coléoptères, *O. noveboracense* et *N. americana* (130 degrés-jours soit environ 6 jours), la seconde escouade comptait cinq espèces de coléoptères, soit *N. surinamensis* au stade larvaire, *O. noveboracense* au stade larvaire, *N. americana* au stade larvaire, *N. tomentosus* et les Histeridae (190 degrés-jours soit environ 9 jours), tandis que la troisième escouade était composée de trois espèces, *N. orbicollis*, *N. rufipes* et *T. unistriatus* (300 degrés-jours soit environ 15 jours).



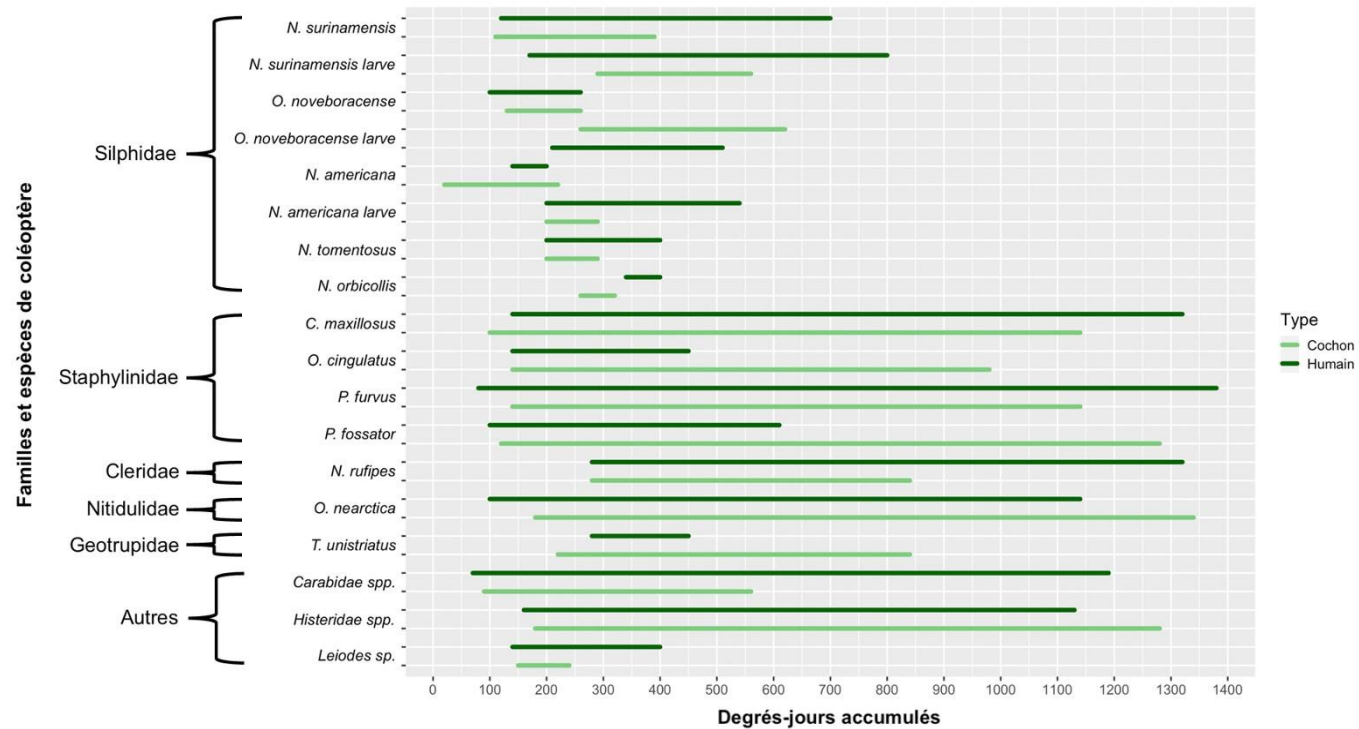


**Figure 9.** Structure de la communauté de coléoptères nécrophages et nécrophiles sur cadavres humains en fonction du nombre de degrés-jours accumulés, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. Les lignes verticales marquent l'arrivée des trois principales escouades de décomposition (orange : première escouade ; bleue : deuxième escouade ; noire : troisième escouade). Les escouades représentent des groupes d'insectes qui arrivent à un moment charnière du processus de décomposition.

### 3.4 COMPARAISON DE LA STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS DE COLÉOPTÈRE

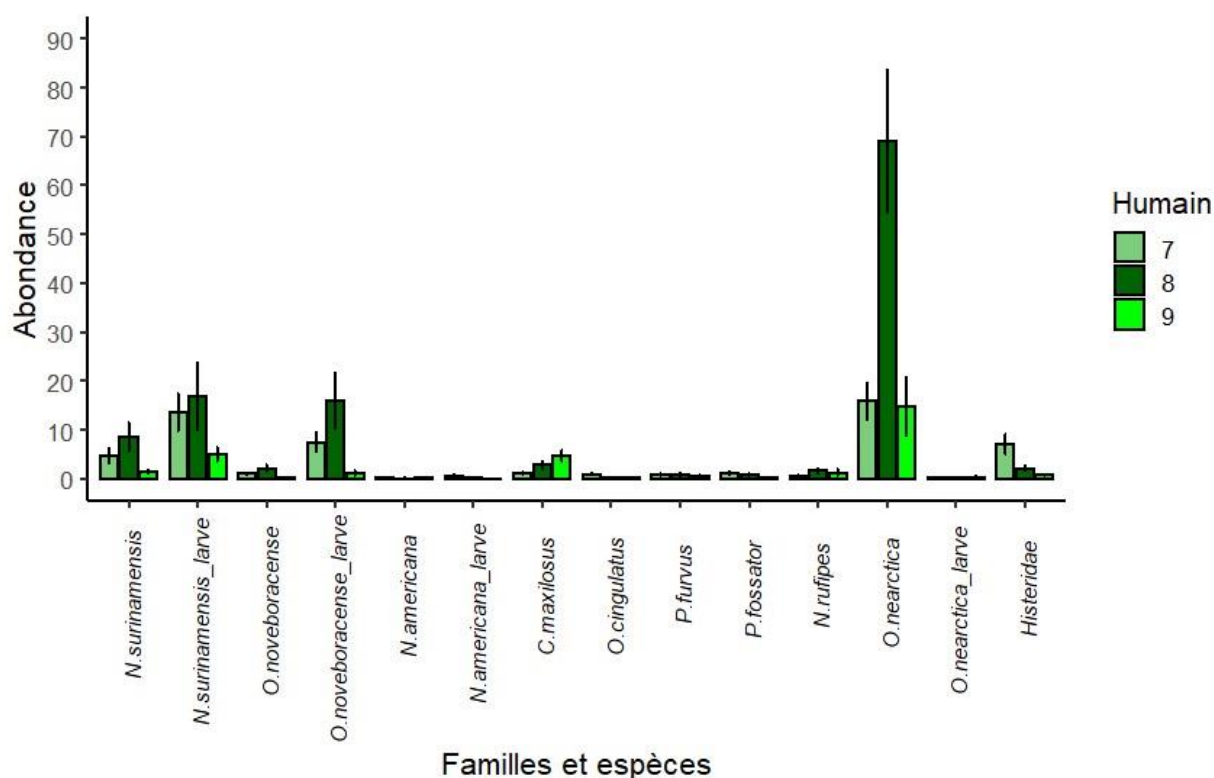
Nos résultats montrent que 18 groupes de coléoptère ont colonisé l'ensemble des cadavres étudiés (humains et porcins ; Figure 10). Parmi ces groupes d'insectes, quatre sont arrivés simultanément sur les cadavres porcins et humains : *O. cingulatus* (140 degrés-jours), *N. americana* au stade larvaire (200 degrés-jours), *N. tomentosus* (200 degrés-jours) et *N. rufipes* (280 degrés-jours). Ainsi, *O. cingulatus* colonisait les cadavres humains et porcins à partir du stade *gonflé*. Pour ce qui est *N. americana* au stade larvaire et de *N. tomentosus*, ceux-ci colonisaient les deux types de cadavres à partir du stade de *décomposition active*. L'espèce *N. rufipes* quant à elle colonisait les donneurs humains à partir du stade de *décomposition active* et les cadavres porcins à partir du stade de *décomposition avancée*. De plus, quatre groupes de coléoptère sont arrivés presque simultanément sur les cadavres humains et porcins : les Carabidae, *N. surinamensis*, *Leiodes* sp. et les Histeridae. Ainsi, les Carabidae colonisaient les donneurs humains à partir de 70 degrés-jours (stade *frais*) et les cadavres porcins à partir de 90 degrés-jours (stade *gonflé*). En ce qui concerne *N. surinamensis*, ils colonisaient les cadavres humains après 120 degrés-jours (stade *gonflé*) et se retrouvaient sur les cadavres porcins après 110 degrés-jours (stade *gonflé*). Pour ce qui est des espèces du genre *Leiodes*, elles étaient présentes sur les donneurs humains à partir de 140 degrés-jours (stade *gonflé*) et à partir de 150 degrés-jours (stade de *décomposition active*) sur les cadavres porcins. Concernant les Histeridae, ceux-ci colonisaient les donneurs humains à partir de 160 degrés-jours (stade *gonflé*) et à partir de 180 degrés-jours (stade de *décomposition active*) pour les cadavres porcins. Pour finir avec la comparaison des communautés qui colonisaient les cadavres humains et les cadavres porcins, nous avons observé qu'aucun groupe ne quittait en

même temps les corps humains et les corps porcins, à l'exception d'*O. noveboracense* qui quittait les deux types de corps après 260 degrés-jours (fin de la *décomposition active*).



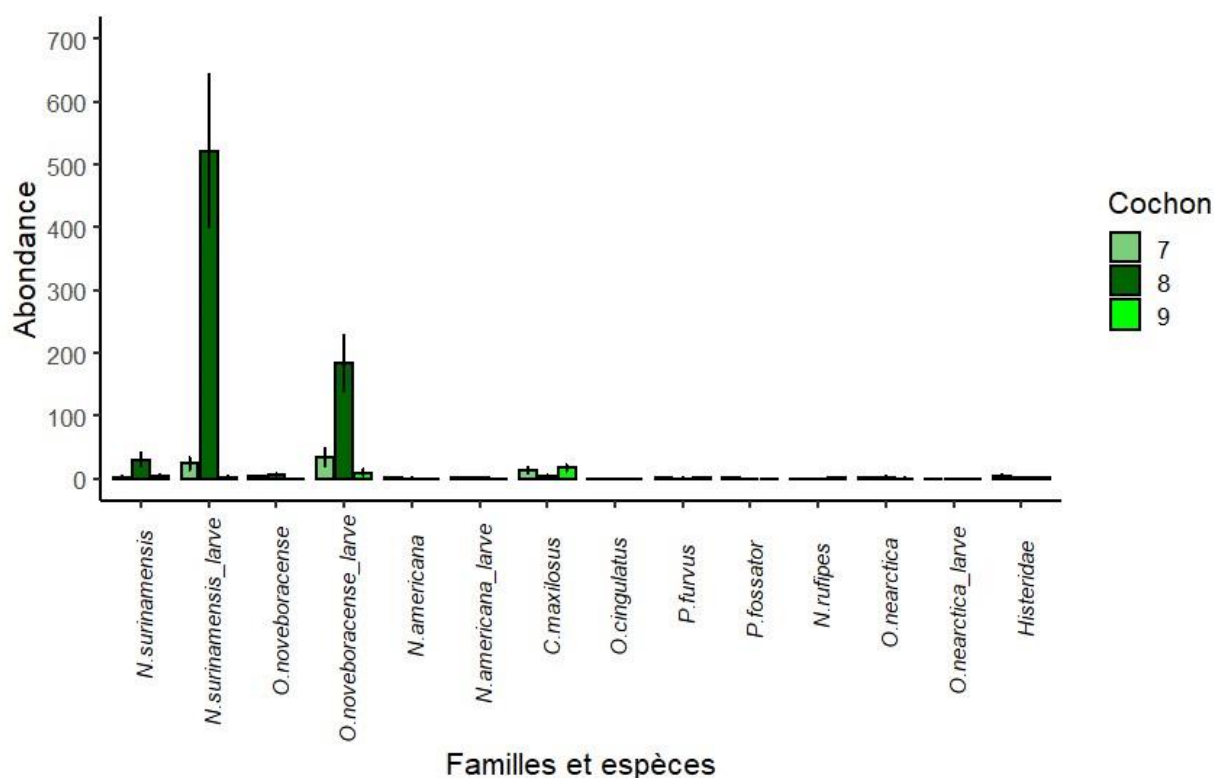
**Figure 10.** Différence dans la structure de la communauté de coléoptères nécrophages et nécrophiles entre les cadavres humains et porcins en fonction du nombre de degrés-jours accumulés, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021.

Nos résultats indiquent qu'il y a des différences au niveau de l'abondance de certaines communautés de coléoptères qui colonisent nos cadavres humains ( $F_{1,2} = 17,94$ ,  $p = 21,85 \cdot 10^{-8}$ ) (Figure 11). En effet, la communauté de coléoptères de notre donneur #8 était significativement différente de celles de nos deux autres donneurs humains ( $p < 0,001$ ). Plus précisément, une seule espèce était significativement plus abondante sur le donneur #8 que sur les deux autres donneurs, soit *O. nearctica* ( $p < 0,001$ ). Concernant l'abondance des communautés qui colonisaient les donneurs #7 et #9, nos résultats indiquent qu'elles n'étaient pas significativement différentes ( $p = 0,23$ ).



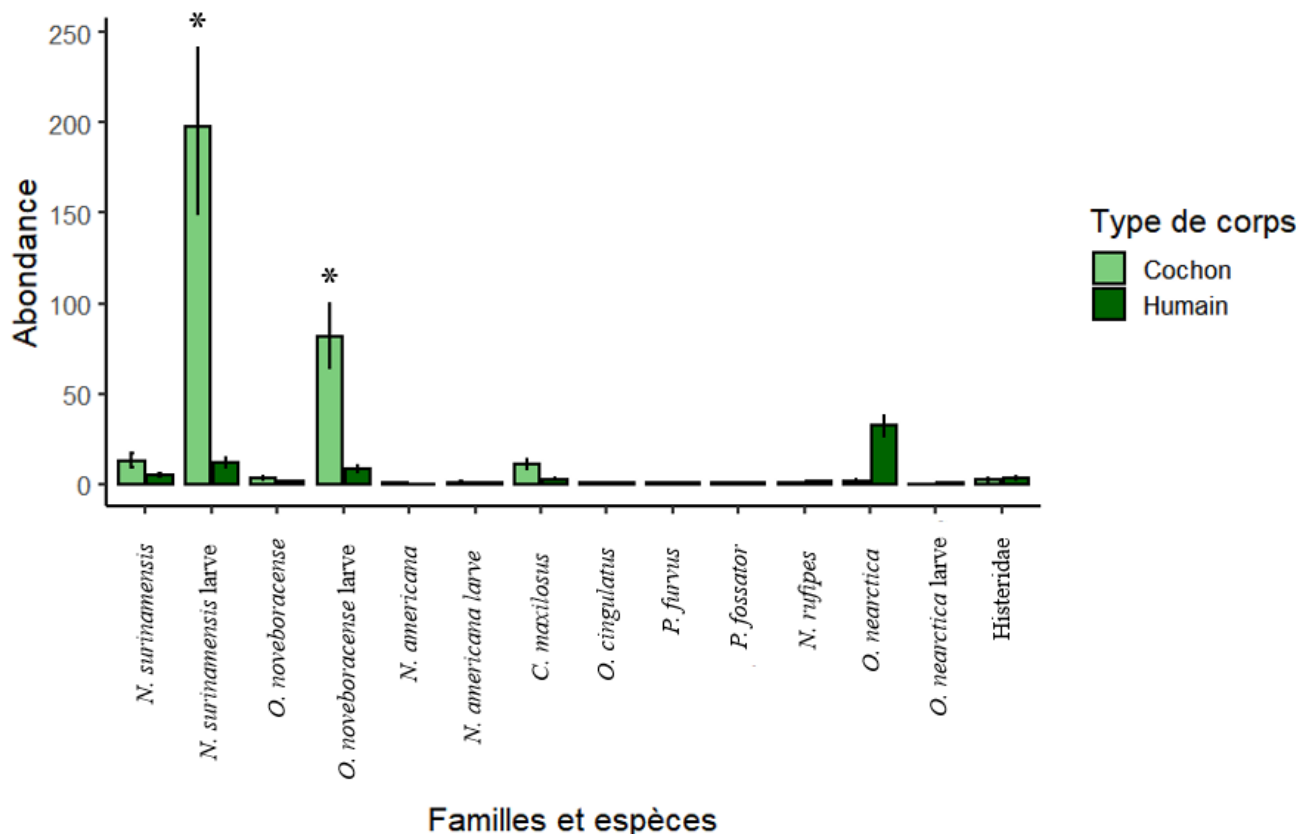
**Figure 11.** Abondance des différentes familles et espèces de coléoptères nécrophages et nécrophiles en fonction du numéro de donneur humain, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021.

Nos résultats indiquent qu'il y a des différences au niveau de l'abondance de certaines communautés de coléoptères qui colonisent nos cadavres porcins ( $F_{1,2} = 13,98$ ,  $p = 3,10 \cdot 10^{-11}$ ) (Figure 12). Encore une fois, la communauté de coléoptères de notre cadavre porcin #8 était significativement différente de celles de nos deux autres cadavres porcins ( $p < 0,001$ ). Plus précisément, deux espèces étaient significativement plus abondante sur le cochon #8 que sur les deux autres cadavres porcins, soit *N. surinamensis* au stade larvaire ( $p < 0,001$ ) et *O. noveboracense* au stade larvaire ( $p < 0,001$ ). Concernant l'abondance des communautés qui colonisaient les cochons #7 et #9, nos résultats indiquent qu'elles n'étaient pas significativement différentes ( $p = 0,90$ ).



**Figure 12.** Abondance des différentes familles et espèces de coléoptères nécrophages et nécrophiles en fonction du numéro du cadavre porcin, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021.

Au niveau de la diversité, nos résultats indiquent qu'on retrouvait les mêmes espèces de coléoptères sur tous nos cadavres. Au niveau de l'abondance des communautés de coléoptères, nos résultats indiquent qu'il y avait des différences significatives pour les deux types de cadavres ( $F_{1,13} = 17,1$ ,  $p = 3,1 \cdot 10^{-6}$ ). Comme il y avait des différences significatives, nous avons effectué une régression logistique (Figure 13) pour déterminer avec plus de précision quelles espèces parmi nos communautés présentaient réellement des différences d'abondance entre les cadavres humains et porcins. Ainsi, nos résultats ont démontré que seules deux espèces avaient une plus grande abondance sur un type de corps particulier, soit dans notre cas, sur les cadavres porcins. Ces deux espèces sont *N. surinamensis* au stade larvaire ( $p = 2 \cdot 10^{-16}$ ) et *O. noveboracense* au stade larvaire ( $p = 1,1 \cdot 10^{-4}$ ).



**Figure 13.** Abondance des différentes familles et espèces de coléoptères nécrophages et nécrophiles en fonction du type de donneur, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. Les astérisques montrent les différences d'abondance significatives entre les deux types de corps.

### 3.5 INFLUENCE DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

Nos résultats montrent que la température moyenne ambiante n'exerçait aucune influence significative sur l'abondance des neuf espèces de coléoptères étudiées (Tableau 3). La luminosité, quant à elle, exerçait une influence négative sur l'abondance de trois espèces de coléoptères (*N. surinamensis*, les larves de Silphidae et *O. nearctica*), et exerçait une influence positive sur l'abondance de *N. americana*. Les stades de décomposition avaient un effet positif significatif sur

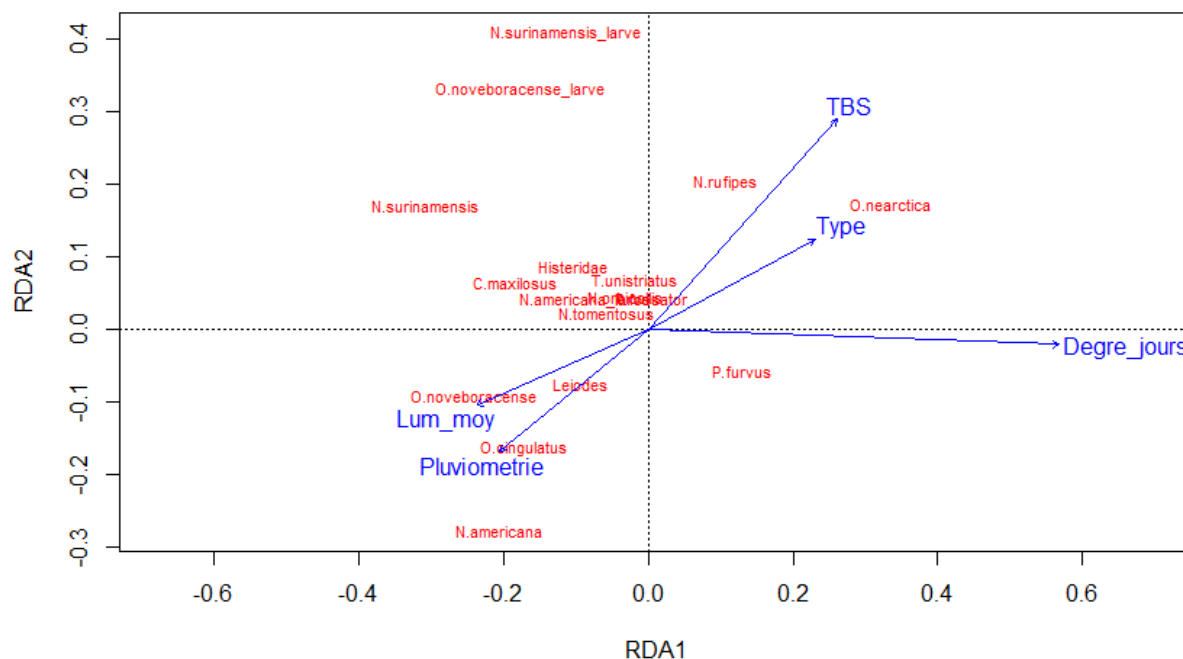


cinq espèces de coléoptères (*N. surinamensis*, *O. noveboracense*, *O. nearctica* ainsi que les larves de Silphidae et de *N. americana*). Nos résultats indiquent également que l'abondance d'un seul regroupement de coléoptères était influencée de manière significative et positive par la pluviométrie, soit les Silphidae au stade larvaire. De plus, le nombre de degrés-jours accumulés influençait significativement et négativement l'abondance de six familles et espèces de coléoptères (*N. surinamensis*, *O. noveboracense*, *N. americana*, *O. cingulatus* ainsi que les larves de Silphidae et de *N. americana*).

**Tableau 3.** Coefficients ( $\beta$ ) et valeur de p du modèle de régression de Poisson utilisé pour expliquer l'abondance des coléoptères nécrophages et nécrophiles sur cadavres humains et porcins, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. Les variables ayant un effet significatif sont représentées par des valeurs de coefficient en gras.

Espèces	Température (°C)		Luminosité (lux)		Stade de décomposition		Pluviométrie (mm)		Degré-jour accumulé	
	$\beta$	Valeur de p	$\beta$	Valeur de p	$\beta$	Valeur de p	$\beta$	Valeur de p	$\beta$	Valeur de p
<i>N. surinamensis</i>	0.058	0.279	<b>-0.001</b>	<b>0.005</b>	<b>0.214</b>	<b>&lt;0.001</b>	0.067	0.832	<b>-0.011</b>	<b>&lt;0.001</b>
<i>O. noveboracense</i>	<0.001	0.997	<0.001	0.187	<b>0.100</b>	<b>0.002</b>	0.392	0.164	<b>-0.006</b>	<b>&lt;0.001</b>
<i>N. americana</i>	0.062	0.474	<b>0.001</b>	<b>0.018</b>	0.070	0.289	-0.624	0.279	<b>-0.009</b>	<b>0.033</b>
<i>Silphidae</i> (larves)	0.021	0.560	<b>-0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.327</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>-1.800</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>-0.008</b>	<b>&lt;0.001</b>
<i>N. americana</i> (larves)	0.027	0.724	<0.001	0.640	<b>0.139</b>	<b>0.002</b>	0.110	0.824	<b>-0.003</b>	<b>0.009</b>
<i>P. fossator</i>	-0.020	0.647	<0.001	0.177	0.003	0.889	0.126	0.699	-0.001	0.243
<i>O. cingulatus</i>	-0.011	0.787	<0.001	0.191	-0.017	0.433	0.224	0.347	<b>-0.001</b>	<b>0.009</b>
<i>O. nearctica</i>	-0.007	0.872	<b>-0.001</b>	<b>0.045</b>	<b>0.098</b>	<b>&lt;0.001</b>	-0.627	0.199	<0.001	0.529
<i>N. rufipes</i>	0.064	0.254	<0.001	0.519	0.063	0.080	-0.329	0.642	<0.001	0.649

Enfin, nous avons réalisé une analyse de redondance canonique sur 16 familles et espèces de coléoptères en lien avec cinq facteurs environnementaux : les degrés-jours accumulés (Degres\_jours), le score de décomposition (Total Body Scoring), la pluviométrie moyenne journalière (Pluviométrie), la luminosité moyenne journalière (Lum\_moy) et le type de corps (Type) (Figure 14). L'ensemble des facteurs mis ensemble expliquait 19 % de la variation d'abondance au sein de nos espèces étudiées. Basés sur la longueur des flèches, les facteurs environnementaux qui influençaient la communauté de coléoptères sont, en ordre décroissant d'importance, les degrés-jours accumulés, le score de décomposition, la pluviométrie moyenne (mm), la luminosité moyenne (lux) et le type de corps (humain ou cochon). Le premier cadran (en haut à gauche) présente les espèces de coléoptères qui étaient influencées de manière négative par le nombre de degrés-jours accumulés : *N. surinamensis* (aux stades larvaire et adulte) et *O. noveboracense* au stade larvaire. Le deuxième cadran (en haut à droite) regroupe les espèces qui étaient positivement influencées par le nombre de degrés-jours accumulés, le type de corps et le score de décomposition, et négativement influencées par la luminosité et la pluviométrie : *O. nearctica* et *N. rufipes*. Le troisième cadran (en bas à gauche) présente les espèces qui étaient influencées de manière négative par le type de corps, les degrés-jours accumulés et le score de décomposition, et influencées de manière positive par la luminosité et la pluviométrie : *O. noveboracense*, *N. americana*, *O. cingulatus* et la famille des Leiodidae (*Leiodes* sp.). Finalement, le quatrième cadran (en bas à droite) regroupe les espèces qui étaient positivement influencées par le nombre de degrés-jours accumulés : *P. furvus*. Nos résultats montrent également que les cinq variables environnementales étudiées avaient peu ou pas d'impact sur la présence de six espèces de coléoptères (*N. americana* au stade larvaire, *N. tomentosus*, *N. orbicollis*, *C. maxillosus*, *P. fossator* et *T. unistriatus*) et deux familles de coléoptères (Carabidae et Histeridae).



**Figure 14.** Résultats de l'analyse de redondance canonique (RDA) présentant l'impact de cinq facteurs environnementaux sur la communauté de coléoptères nécrophages et nécrophiles sur cadavres humains et porcins, site REST[ES] (Bécancour, Québec, Canada), de juin à octobre 2021. Les flèches bleues correspondent aux cinq facteurs environnementaux pris en compte dans l'analyse de redondance canonique, la longueur de chaque flèche étant proportionnelle à l'importance d'un facteur donné sur la communauté de coléoptères nécrophages et nécrophiles. La répartition des différents groupes de coléoptères dans les quatre cadrans dépend de l'impact qu'ont les facteurs environnementaux sur eux. Lum\_moy représente la luminosité moyenne (lux), TBS représente le score de décomposition, Degre\_jours représente le nombre de degrés-jours accumulés, Pluviometrie représente la quantité moyenne de pluie (mm) et Type représente le type de cadavre (humain ou cochon).

## 4. DISCUSSION

L'objectif principal de cette étude était d'étudier les communautés de coléoptères nécrophages et nécrophiles du Québec sur des cadavres humains et porcins. Nos résultats ont montré que certaines familles et espèces (Silphidae, *O. nearctica* (Nitidulidae) et *N. rufipes* (Cleridae)) colonisaient des corps sur une période définie, soit à des moments précis du processus de décomposition, ce qui concorde avec notre première hypothèse au sujet de la succession des espèces. Nos résultats indiquent également qu'il n'y avait pas de différence au niveau des espèces de coléoptères qui colonisent les cadavres humains et porcins, ce qui va à l'encontre de notre deuxième hypothèse. Toutefois, des différences significatives ont été observées au niveau de l'abondance de *N. surinamensis* et *O. noveboracense*, qui étaient beaucoup plus abondantes sur cadavres porcins. Finalement, nos résultats montrent que mis ensemble, les facteurs environnementaux, tels que la luminosité, la température et la pluviométrie, explique 19 % de la variation de la composition en espèces des communautés de coléoptères, ce qui est en accord avec notre troisième hypothèse.

#### 4.1 PROCESSUS DE DÉCOMPOSITION HUMAIN ET PORCIN

Concernant le processus de décomposition, nos résultats ont montré des différences interindividuelles au niveau de la vitesse de décomposition des cadavres. Dans la littérature, il est bien connu que la vitesse de décomposition des donneurs humains varie entre les individus en raison de différences morphologiques et physiologiques (Matuszewski et al., 2019 ; Miles et al., 2020). Cette variation peut être due entre autres au fait que chaque individu n'a pas nécessairement le même âge, le même régime alimentaire ou le même poids (Matuszewski et al., 2019). De plus, dans notre étude, les donneurs étaient tous des patients sous traitements médicamenteux différents (voir Tableau 1 dans la section Méthodologie), ce qui pourrait être un autre facteur de variation entre les cadavres humains (Matuszewski et al., 2019). Aussi, certaines études ont observé que les cadavres humains se décomposaient plus lentement que les cadavres porcins. C'est le cas des études de Dawson et al., (2020) et de Knobel et al., (2020), qui ont toutes les deux été réalisées en Australie. Dans le cas de l'étude de Dawson et al., (2020), les détails sur la durée de décomposition de chacun des stades ne sont pas disponibles. Cependant, dans le cas de l'étude de Knobel et al., (2019), la différence entre la vitesse de décomposition des cadavres humains et celle des cadavres porcins est assez marquante. En effet, dès le stade *frais*, il y avait une différence notable puisque les humains demeuraient à ce stade durant six jours comparativement à un seul jour pour les cochons. Cette différence au niveau de la vitesse de décomposition demeure tout au long du processus, avec des stades beaucoup plus longs chez les

cadavres humains que chez les cadavres porcins. Pour finir avec l'étude de Knobel et al., (2019), les humains atteignaient le stade de *décomposition active*, qui était le dernier stade de cette étude, après 28 jours alors que les cochons l'atteignaient en seulement 10 jours. En revanche, d'autres études ont montré que les cadavres humains et les cadavres porcins se décomposaient à un rythme similaire, comme c'est le cas pour l'étude de Wang et al., (2017), réalisée en Chine. En effet, l'étude de Wang et al., (2017) indique que le cadavre humain terminait le processus de décomposition après 294,7 degrés-jours alors que les deux cadavres porcins terminaient le processus de décomposition après respectivement 267,8 et 294,7 degrés-jours. Pourtant, ces trois études ont toutes été effectuées avec des cadavres porcins de poids similaires aux cadavres humains utilisés, ce qui est également le cas de notre étude. Ainsi, les résultats obtenus dans ces études démontrent bien la variation interspécifique et cela même si le poids des cadavres était similaire. Dans le cas de notre étude, nous avons observé que la durée du processus de décomposition entre nos deux types de donneurs était plutôt similaire. En effet, nos donneurs humains atteignaient le stade de *restes secs* après une moyenne de 32 jours, alors qu'il fallait 29 jours en moyenne à nos cadavres porcins. Ainsi, nos résultats concordent plus avec ceux de l'étude de Wang et al., (2017) qu'avec les études de Knobel et al., (2019) et de Dawson et al., (2020). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les deux études qui indiquent que les humains se décomposent plus lentement que les cochons aient été réalisées sur le site AFTER (Sydney, Australie) et donc dans des conditions climatiques et environnementales similaires, mais différentes des nôtres.

Bien que nos résultats indiquent que la vitesse de décomposition entre les cadavres humains et porcins était similaire, cela ne signifie pas que le processus entier était identique. En effet, nous avons observé des différences à la fois intraspécifiques et interspécifiques. Pour ce qui est des différences intraspécifiques, nos résultats indiquent que la tête, l'abdomen et les membres ne se décomposaient pas à la même vitesse, que ce soit pour nos cadavres humains ou nos cadavres porcins. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le TBS est fortement influencé par le micro-habitat où repose le cadavre (Wescott et al., 2018). Ainsi, comme les corps des donneurs n'étaient pas exactement dans le même micro-habitat (p. ex : luminosité, végétation et inclinaison du terrain différente), cela aurait pu exercer une influence sur la décomposition et donc sur le TBS. De plus, un aspect intéressant que nous avons observé chez les donneurs humains et non chez les cadavres porcins, est que les membres ne se décomposaient jamais entièrement. Cela a également été observé dans l'étude de Wang et al., (2017) qui a constaté que le cadavre humain avait les jambes momifiées, même si le reste du corps était à l'état de *restes secs*. Ce phénomène s'explique par le fait que les membres sont généralement moins attrayants que le reste du corps pour les insectes (peu de chair et absence d'organes), ce qui conduit à un plus faible taux d'activité des insectes (Wang et al., 2017). Ces observations indiquent que, malgré le fait que les cadavres porcins soient le modèle animal le plus utilisé dans le domaine de l'entomologie légale (Matuszewski et al., 2019), il n'en demeure pas moins que des différences au niveau de la décomposition sont observables entre ceux-ci et les cadavres humains (Miles et al., 2020 ; Maisonhaute et Forbes, 2023).



Un autre aspect intéressant de notre étude est le fait que durant notre période d'étude, deux de nos cadavres humains (donneurs #7 et #8) sont passés par un processus de décomposition particulier, soit le processus de *momification*. Comme mentionné plus tôt dans ce mémoire, la *momification* est un processus qui préserve les tissus grâce à la dessiccation du corps (Finaughty et Morris, 2019). Les tissus deviennent ainsi très secs et prennent l'apparence de cuir qui se colle aux os (Vass, 2001). Généralement, la *momification* d'un cadavre est observée dans des milieux secs, comme les déserts et les régions arctiques (Vass, 2001 ; Leccia et al., 2018). Cependant, d'autres facteurs peuvent causer la *momification* d'un cadavre. Par exemple, la *momification* est plus fréquente chez les cadavres plus âgés, ayant une masse corporelle plus faible ou déshydratée (Marella et al., 2013). Fait intéressant, ce processus de *momification* a été observé dans l'étude de Marella et al., (2013) réalisée en Italie, pays où la température n'est supposément pas favorable à la *momification*, tout comme ce fut le cas dans notre étude. Ainsi, puisque tous les donneurs humains inclus dans notre étude étaient relativement âgés ( $> 50$  ans) et qu'ils n'avaient pas une grande masse corporelle, cela pourrait expliquer que nous ayons observé le stade de *momification* chez deux ces cadavres humains après environ 13,5 jours. L'étude de Maisonhaute et Forbes (2023) et celle d'Arcand et al. (2023), toutes les deux réalisées sur le même site et avec des donneurs âgés d'au moins 55 ans, ont également observées la *momification* des donneurs humains. Aussi, l'article de Miles et al., (2020) mentionne que les cadavres humains avaient plus tendance à se momifier que les cadavres d'animaux, ce qui est en accord avec nos observations. En somme, nos résultats confirment qu'il

existe bien des différences au niveau de la décomposition des cadavres humains par rapport aux cadavres porcins, ce qui confirme la nécessité de réaliser d'autres études avec des donneurs humains. De plus, nos observations confirment que le processus de *momification* peut être observé sous une latitude septentrionale, ce qui est particulièrement intéressant. Cela accentue également l'importance des coléoptères du Québec, puisque plusieurs espèces, comme les dermestes (étonnamment peu présentes dans notre étude) et *N. rufipes* (Cleridae), sont fréquemment associés à la *momification* (Schroeder et al., 2002 ; Hasan et al., 2020).

#### **4.2 STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS DE COLÉOPTÈRES NÉCROPHAGES ET NÉCROPHILES**

Nos résultats indiquent que certaines espèces de coléoptères colonisaient les cadavres humains et porcins à des moments précis du processus de décomposition. La famille des Silphidae est particulièrement intéressante, car plusieurs espèces de cette famille étaient présentes uniquement à des stades de décomposition précis, autant sur les cadavres humains que sur les cadavres porcins. Par exemple, sur les deux types de cadavres, nous avons trouvé deux espèces indicatrices de la période de début de décomposition, soit *N. americana* et *O. noveboracense*, qui étaient présentes du stade *frais* jusqu'au début du stade de *décomposition active*. Les larves de *N. surinamensis* et d'*O. noveboracense* étaient également présentes à partir du stade de *décomposition active* jusqu'au stade de *restes secs*. Ces observations sont en accord avec la littérature,

puisque les Silphidae sont reconnues comme des espèces nécrophages et nécrophiles qui colonisent un corps dès le stade *frais* (Payne, 1965 ; Rivers et Dahlem, 2014 ; Maisonhaute et Forbes, 2021). Leur présence peut s'expliquer par le fait que plusieurs espèces de Silphidae aux stades adulte et larvaire se nourrissent des tissus mous d'un corps (p. ex : peau et muscles; Ratcliffe, 1972) ainsi que des œufs et des larves de diptères (Calliphoridae ; Ratcliffe, 1996), qui sont présents au début du processus de décomposition. De plus, l'étude de Popescu et al. (2023), réalisée sur des carcasses de porc pesants autour de 21 kg, indique une forte corrélation entre l'abondance des adultes de *N. surinamensis* et celle de leurs larves, suggérant que les Silphidae adultes utilisent également des cadavres en décomposition comme milieu de reproduction. L'étude de Popescu et al. (2023) a également révélé que les adultes de *N. surinamensis* se nourrissent préférentiellement des larves de diptères, ce qui permet de diminuer la compétition intraspécifique pour la ressource en cadavres et permet à leurs propres larves d'accroître leur chance de survie jusqu'au stade adulte. Ainsi, les larves de *N. surinamensis* peuvent coloniser le même cadavre sans entrer en compétition avec les adultes. Ce faisant, ces deux espèces de la famille des Silphidae (*N. americana* et *O. noveboracense*), se sont révélées intéressantes pour évaluer l'intervalle post-mortem. La première se distingue des autres espèces puisque les adultes arrivaient moins de 24 heures après la déposition d'un corps (autant sur les cadavres humains que porcins), ce qui est similaire aux observations de l'étude de Maisonhaute et Forbes (2021) qui a également été effectuée au Québec. Toutefois, nos observations diffèrent de celles d'une autre étude réalisée au Québec et qui a montré que *N. americana* colonisait

généralement les cadavres porcins un peu plus tardivement, soit à partir du stade de décomposition *gonflé* (Taillefer et Giroux, 2021). Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que la carcasse dans l'étude de Taillefer et Giroux (2021) pesait seulement 30 kg et que l'étude a eu lieu du 31 octobre jusqu'au 28 mai, une période différente de notre étude. En effet, l'étude de Taillefer et Giroux (2021) a eu lieu en grande partie durant l'hiver, période où les insectes sont pratiquement inactifs alors que notre étude avait lieu durant l'été, période où les insectes sont très actifs. De plus, comme *N. americana* préfère un milieu humide (Gallant et al., 2022), il est possible que le site forestier de l'étude de Taillefer et Giroux (2021) fût moins propice à cette espèce. Au même titre que *N. americana*, *O. noveboracense* se distingue des autres espèces par une colonisation rapide et une période de colonisation restreinte. En effet, cette espèce comptait parmi les premières observées après le dépôt d'un corps, soit du stade *frais* au stade de *décomposition active* sur les cadavres humains et porcins. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le milieu forestier est un habitat favorable pour *O. noveboracense* (Anderson, 1982). Ces observations semblent donc indiquer qu'en pratique, il serait possible d'utiliser ces deux espèces pour estimer l'intervalle post-mortem. Ainsi, basé sur nos résultats, si l'on observe à la fois *N. americana* et *O. noveboracense*, sur un cadavre humain trouvé en milieu forestier au Québec, il est possible d'estimer que celui-ci est décédé il y a environ 150 à 200 degrés-jours, soit entre 7 et 9 jours au maximum.

Parmi toutes les espèces de coléoptères observées dans ce projet, *N. rufipes* (Cleridae) constitue une autre espèce importante en entomologie légale puisqu'elle

colonise les corps de façon tardive, soit à partir du stade de *décomposition active* (après 241 degrés-jours en moyenne) sur les donneurs humains et du stade de *décomposition avancée* sur les cadavres porcins (après 229 degrés-jours en moyenne), ce qui est assez similaire pour les deux types de cadavre. De plus, cette espèce était encore présente durant les stades de *restes secs* et de *momification*, qui constitue les derniers stades de décomposition. Les observations sur les cadavres porcins sont conformes à ce qui est observé dans la littérature puisque *N. rufipes* est reconnu pour se nourrir de matière organique sèche (p. ex : os et tissus momifiés) ainsi que d'autres insectes (p. ex : larves de diptères de la famille des Piophilidae) qui colonisent la matière organique sèche (Martin-Vega, 2011 ; Nadeau et al., 2015 ; Hasan et al., 2020). De plus, d'autres études réalisées au Canada et portant sur la décomposition de cadavres porcins ont également observé *N. rufipes* sur des corps en fin de décomposition, soit du stade de *décomposition avancée* jusqu'au stade de *restes secs* (Sharanowski et al. 2008 ; Maisonhaute et Forbes, 2021 ; Maisonhaute et Forbes, 2023). *Necrobia rufipes* semble donc être une espèce intéressante pour déterminer l'intervalle post-mortem, puisqu'elle est seulement présente durant une période restreinte du processus de décomposition, soit à partir de la fin du stade de *décomposition active* jusqu'au stade de *restes secs*.

Une autre espèce intéressante pour la détermination de l'intervalle post-mortem est *O. nearctica* (Nitidulidae). Bien qu'il s'agisse d'une espèce sur laquelle peu d'études ont été effectuées en entomologie légale (Byrd et Tomberlin, 2020), *O. nearctica* a été observée dans de nombreuses études en Amérique du Nord (Majka et Cline, 2006 ; Price et Young, 2006 ; Powell et Weidner, 2023). Nos résultats ont

montré que cette espèce colonisait les corps à partir du stade de décomposition *gonflé* et était encore présente durant le stade de *restes secs*, ce qui confirme les observations de Maisonhaute et Forbes, 2021. En effet, *O. nearctica* colonisait les cadavres humains après 100 degrés-jours en moyenne et après 180 degrés-jours en moyenne pour les cochons. Nous avons également observé la présence de larves de cette espèce à partir du stade de *décomposition avancée* jusqu'à la fin de nos observations, ce qui implique que les adultes de *O. nearctica* arrivent avant le stade de *décomposition avancée* et pondent directement sur le corps en décomposition. La présence de cette espèce en fin de processus de décomposition s'explique par le fait que celle-ci se nourrit principalement de matières organiques sèches (Nadeau et al., 2015). Cependant, bien que leur alimentation soit similaire à celle des Dermestidae (une autre famille de coléoptères contenant des espèces nécrophages reconnue pour se nourrir de matières organiques sèches), il semble que les Nitidulidae apprécient les milieux plus humides que les Dermestidae (Byrd et Tomberlin, 2020), ce qui pourrait expliquer la présence de cette espèce dès le stade *gonflé*.

En ce qui concerne les dermestes, nous avons observé un seul spécimen de cette famille au cours de notre étude. C'est d'ailleurs pour cette raison que cette famille ne se retrouve pas dans nos analyses. Cependant, elle est présente dans de nombreuses études réalisées au Canada, comme celles d'Anderson (2001), Maisonhaute et Forbes, (2021) et Maisonhaute et Forbes (2023). Malgré cela, même si la présence de cette famille est mentionnée dans les études ci-dessus, elle était peu abondante et peu fréquente. Dans notre étude, le seul spécimen de dermestes que nous avons observé

était présent sur le cadavre du cochon #7 durant le stade *frais*. Ces observations sont en désaccord avec la littérature puisque les dermestes colonisent généralement les cadavres durant le stade de *décomposition avancée* et le stade de *restes secs* (Wang et al., 2017). Cependant, l'étude de Maisonhaute et Forbes (2023) a également mentionné leur présence dès le stade *frais*, mais en faible abondance. Il serait d'ailleurs intéressant d'investiguer sur la raison qui expliquerait la faible abondance des dermestes associés aux cadavres au Québec. Ainsi, comme nous avons observé un seul spécimen, il est possible que celui-ci provenait d'un autre cadavre à proximité sur le site REST[ES], qui lui était à un stade de décomposition plus avancé.

Concernant les espèces de la famille des Staphylinidae, nos résultats suggèrent qu'elles sont peu pertinentes pour estimer l'intervalle post-mortem. En effet, les quatre espèces que nous avons identifiées étaient présentes durant presque tout le processus de décomposition, autant chez l'humain que chez le cochon. Ces observations sont en accord avec la littérature puisque les staphylins sont fréquemment observés du stade *gonflé* (2<sup>e</sup> stade de décomposition) jusqu'au stade de *restes secs* (5<sup>e</sup> stade de décomposition) (Battan et Linhares, 2011 ; Dekeirsschieter et al. 2013). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les espèces de la famille des Staphylinidae que nous avons observées sont prédatrices et se nourrissent principalement de larves de diptères de différentes espèces, qui elles, colonisent les corps en décomposition tout au long du processus (Battan et Linhares, 2011). Deux autres familles de coléoptères ont également été observées dans cette étude, soit les Carabidae et les Histeridae. Au même titre que les Staphylinidae, celles-ci ne présentaient pas d'importance majeure pour la

détermination de l'intervalle-post mortem. En effet, nos résultats indiquent que les Carabidae et les Histeridae, des coléoptères nécrophiles (Marshall, 2018), étaient présents durant presque tout le processus de décomposition. Pour les Carabidae, cette présence durant tout le processus de décomposition peut s'expliquer par le fait que plusieurs membres de cette famille sont des prédateurs généralistes (Lövei et Sunderland, 1996). Ainsi, comme la forêt est un habitat favorable pour plusieurs membres de la famille des Carabidae (Marshall, 2018), nous pouvons en déduire que ceux que nous avons observés durant notre étude étaient présents de manière sporadique sur les corps pour se nourrir des insectes présents. En ce qui concerne la famille des Histeridae, nos observations sont conformes à ce qui a été observé dans d'autres études au Canada, où ils sont généralement présents tout au long de la décomposition (Sharanowski et al., 2008 ; Maisonhaute et Forbes, 2021). Cela s'explique de la même façon que pour les Staphylinidae, puisque les Histeridae sont également des coléoptères prédateurs qui vont se nourrir des larves d'autres insectes, notamment des larves de diptères, présents sur le corps en décomposition (Bajerlein et al., 2011).

En plus des familles de coléoptères prédatrices que nous avons observés durant notre étude (Staphylinidae, Carabidae et Histeridae), deux autres familles ont été observées sans toutefois présenter un intérêt pour l'estimation l'intervalle post-mortem. Ces deux familles sont les Leiodidae et les Geotrupidae, dont les membres observés au courant de notre étude sont des nécrophages (Marshall, 2018). En ce qui concerne les Leiodidae, nos résultats indiquent qu'ils étaient présents du stade *gonflé* jusqu'au stade



de *décomposition active*, et cela pour nos deux types de cadavres (150-400 degrés-jours pour les humains et 150-250 degrés-jours pour les cochons). Cela diffère de la littérature, puisqu'ils ont été observés dans d'autres études durant une courte période en fin de processus de décomposition, soit durant le stade de *restes secs* (Maisonhaute et Forbes, 2021 ; Maisonhaute et Forbes, 2023), ou étaient tout simplement absents (Sharanowski et al., 2008 ; Bygarski et Leblanc, 2013). Il nous est donc difficile de conclure à une préférence pour les Leiodidae.

Les membres de la deuxième famille, les Geotrupidae, quant à eux, ont été collectés en trop petite quantité lors de cette étude pour obtenir une inférence fiable. Cependant, nous les avons observés du stade de *décomposition active* jusqu'au stade de *décomposition avancée* (275-450 degrés-jours) pour les donneurs humains et à partir du stade de *décomposition active* jusqu'au stade de *restes secs* (200-850 degrés-jours) pour les cadavres porcins. Bien qu'il soit mentionné que les Geotrupidae, des coléoptères nécrophiles, sont fréquemment observées sur les corps dans l'article de Nadeau et al., (2015), très peu d'études indiquent avoir observé des membres de cette famille au Canada. Par exemple, les études de Sharanowski et al. (2008), Bygarski et LeBlanc (2013) ainsi que Taillefer et Giroux (2023), ne mentionnent pas la présence de Geotrupidae. Cependant, l'article de Maisonhaute et Forbes, (2023) indique avoir observé des membres de la famille des Geotrupidae en fin de décomposition. Il semble donc que nos observations coïncident sur ce point. En raison de la présence durant presque tout le processus de décomposition pour trois des familles de coléoptère (Staphylinidae, Carabidae et Histeridae) et de la faible présence des deux autres

familles (Leiodidae et Geotrupidae), les espèces mentionnées ci-dessus apparaissent peu pertinentes pour estimer l'IPM dans la région du Québec.

Pour finir avec la communauté de coléoptères, il y a deux familles que nous avons mentionnées dans l'introduction et que nous n'avons pas observé durant notre étude. Ces deux familles de coléoptères sont les Hydrophilidae et les Latridiidae. En ce qui concerne la famille des Hydrophilidae, leur absence pourrait s'expliquer par le fait que la forêt où a eu lieu notre étude était un milieu trop sec pour eux. En effet, cette famille est reconnue pour coloniser les milieux aquatiques et semi-aquatiques (Fikáček et al., 2010). Concernant la famille des Latridiidae, leur absence pourrait s'expliquer par le fait que cette famille est généralement associée au milieu humide (Oterro et Ghahari, 2017), ce qui n'était pas le cas de notre site d'étude.

#### **4.3 COMPARAISON DE LA STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS DE COLÉOPTÈRES**

Huit familles différentes de coléoptères ont été collectées au cours de la période d'étude. Ces familles sont les suivantes : Silphidae, Staphylinidae, Cleridae, Nitidulidae, Geotrupidae, Carabidae, Histeridae et Leiodidae. Au sein de ces familles, nous avons identifié cinq espèces de Silphidae, cinq espèces de Staphylinidae, une espèce de Cleridae, une espèce de Nitidulidae, une espèce de Geotrupidae et une espèce de Leiodidae. Concernant les Carabidae et les Histeridae, puisque nous les avons seulement identifiées jusqu'à la famille, nous ne pouvons pas déterminer le nombre

d'espèces observées. Pour ce qui est de la comparaison de la diversité de ces espèces sur les cadavres humains et porcins, nos résultats indiquent que les coléoptères nécrophages et nécrophiles colonisaient les deux types de cadavres indifféremment. En effet, nous avons retrouvé exactement les mêmes espèces sur les donneurs humains que sur les cadavres de cochons. Nous n'avons pas non plus observé de différences intraspécifiques au niveau de la diversité, autant chez les donneurs humains que chez les cadavres porcins. Ces observations sont en accord avec la littérature, puisqu'il est reconnu que les communautés de coléoptère sur des cadavres de poids similaires sont très semblables, et cela même si ces cadavres sont de deux espèces différentes (Wang et al., 2017 ; Matuszewski et al., 2019). Il a d'ailleurs été mentionné dans l'article de Matuszewski et al., (2019) que le poids des cadavres était l'un des facteurs influençant le plus fortement les communautés de colonisateurs nécrophages et nécrophiles. Ainsi, puisque dans notre étude le poids des donneurs humains et des cadavres porcins était similaire (environ 70 kg), il est cohérent que nous retrouvions la même diversité de coléoptères nécrophages et nécrophiles. Cette similarité au niveau de la diversité et de la structure des communautés de coléoptère pourrait également s'expliquer par le fait que les odeurs dégagées par les deux types de corps possédaient des composés volatils organiques similaires (Deikersschietter et al., 2009 ; Knobel et al., 2019 ; Dargan et Forbes, 2020).

En plus de comparer nos deux modèles au niveau de la diversité des espèces, nous avons également évalué s'il y avait une différence au niveau de l'abondance des espèces de coléoptères qui colonisaient les deux types de cadavres. Ainsi, nos résultats

ont révélé qu'il y avait des différences au niveau de l'abondance de nos communautés entre le donneur humain #8 et les deux autres donneurs humains, mais pas entre les donneurs #7 et #9. Ce qui est intéressant dans ces résultats est que les humains #7 et #9 sont ceux qui se sont momifiés. Ainsi, nous pouvons émettre l'hypothèse que la *momification* avait un impact négatif considérable sur l'abondance de nos communautés de coléoptères, puisque le donneur qui ne s'était pas momifié avait la communauté la plus abondante. De plus, une seule espèce avait une abondance significativement différente entre les donneurs, soit *O. nearctica*, qui était bien plus abondante sur le donneur non momifié. Cela est en accord avec la littérature puisqu'il est mentionné dans l'article de Byrd et Tomberlin, (2020) que les Nitidulidae préfèrent des milieux un peu plus humides que les Dermestidae, qui eux sont fréquemment associés aux momies.

En ce qui concerne la comparaison de l'abondance des communautés de coléoptères sur les cadavres porcins, nos résultats indiquent encore une fois une différence entre le cochon #8 et les cochons #7 et #9. Cependant, comme c'était le cas pour les donneurs humains, le cochon #7 et #9 avait une communauté de coléoptère comparable au niveau de leurs abondances. Au niveau des espèces, nous avons observés que seules deux espèces étaient significativement plus abondantes sur le cochon #8 que sur les deux autres cochons, soit *N. surinamensis* au stade larvaire et *O. noveboracense* au stade larvaire. Cette différence pourrait s'expliquer par le principe de l'agrégation, principe qui implique qu'une espèce peut monopoliser un cadavre en se réunissant de façon massive, en excluant ainsi les autres espèces, comme mentionné

dans l'article de Popescu et al. (2023). En effet, dans cet article, on observe que *N. surinamensis* pouvait parfois s'agglutiner sur un corps, ce qui diminuait fortement la présence des autres espèces et augmentait grandement sa reproduction. Ainsi, il est possible que ce soit ce qui s'est passé avec le cadavre du cochon #8, ce qui expliquerait la différence avec les deux autres cadavres porcins.

Au niveau de la comparaison des humains et des cochons, nos résultats indiquent qu'il n'y avait pas de différence majeure au niveau de l'abondance des espèces de coléoptère à l'exception des larves de *N. surinamensis* et d'*O. noveboracense*. Les larves de ces deux espèces, présentaient une abondance considérablement plus élevée sur les cadavres de cochons que sur les cadavres des donneurs humains. Cette différence d'abondance pourrait s'expliquer par les différences morphologiques entre un humain et un cochon. En effet, comme mentionné dans l'article de Dawson et al. (2020), les corps des cadavres porcins sont plus trapus que ceux de leurs homologues humains, ce qui est favorable à l'amoncèlement des larves.

Bien que la diversité et l'abondance ne soient pas significativement différentes pour la majorité des coléoptères qui colonisent les cadavres humains et porcins, nous avons observé des différences au niveau de la période de colonisation. Par exemple, nos résultats indiquent que seulement neuf groupes de coléoptères (*N. surinamensis*, *N. americana* au stade larvaire, *N. tomentosus*, *O. cingulatus*, *P. fossator*, *N. rufipes*, les Carabidae, les Histeridae et les Leiodidae) sur 18 débutaient la colonisation pratiquement au même moment pour les cadavres humains et porcins. De plus, une

seule espèce de coléoptères, soit *O. noveboracense*, quittait les cadavres humains et porcins au même moment. Ces observations pourraient s'expliquer par le fait que certains composés volatils organiques ne se dégagent pas au même moment pour les cadavres humains et pour les cadavres porcins (Deikersschietter et al., 2009), notamment en raison de différence dans la vitesse de décomposition. En effet, l'étude de Knobel et al. (2019) mentionne que l'abondance des composées volatiles qui composent l'odeur de la mort est semblable entre les humains et les cochons durant les premiers stades de décomposition, tandis qu'elle diffère plus le processus de décomposition progresse. Par exemple, une forte abondance de butan-1-ol est associée au stade de décomposition *gonflé*, alors qu'une forte abondance d'indole est plutôt associée au stade de *décomposition active* (Deikersschietter et al., 2009). Ainsi, comme certaines espèces de coléoptères nécrophages et nécrophiles sont attirées par des composés volatils précis (p. ex : butan-1-ol, indole), cela pourrait expliquer pourquoi ceux-ci colonisent les cadavres à des moments précis (Deikersschietter et al., 2009).

Finalement, nos résultats au niveau de la comparaison de la structure des communautés de coléoptères indiquent qu'il y a plusieurs points communs, notamment au niveau de la diversité et de l'abondance. Cependant, nous avons également observé plusieurs points sur lesquelles les communautés de coléoptères nécrophages et nécrophiles différaient au niveau de la colonisation des différents types de cadavres. En effet, il y avait des différences au niveau de l'abondance des larves de Silphidae ainsi que de nombreuses espèces qui ne colonisaient pas les cadavres humains au même moment que les cadavres de cochons. Ainsi, nos résultats semblent indiquer que bien

que le cochon soit un bon modèle de remplacement, il n'en demeure pas moins qu'il n'est pas identique au modèle humain. Nos résultats semblent donc indiquer la nécessité d'effectuer des études avec des modèles humains dans le domaine de l'entomologie médico-légale pour étudier la colonisation, puisque des différences sont présentes entre les deux modèles.

#### **4.4 FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX**

Nos résultats indiquent que la température ambiante, la luminosité et la pluviométrie exercent une influence significative sur la présence et l'absence des coléoptères et cela pour nos deux types de cadavres. En effet, ces facteurs réunis expliquent jusqu'à 19 % de la présence et de l'absence des coléoptères nécrophages et nécrophiles observés durant ce projet.

La température ambiante est reconnue pour jouer un rôle important dans le développement des insectes puisque la chaleur favorise leur activité et accélère le développement des larves (Ozdemir et Sert, 2009 ; Prado e Castro et al., 2013). C'est pourquoi nous nous attendions à ce qu'elle ait un impact important sur la présence des coléoptères nécrophages et nécrophiles. Cependant, nos résultats indiquent que les espèces de coléoptères observées n'étaient peu ou pas influencées par la température ambiante moyenne. Cela est en contradiction avec la littérature, puisque plusieurs familles ou espèces de coléoptères, dont les Silphidae et *C. maxillosus* (Staphylinidae), sont normalement présentes en plus grand nombre avec une température moyenne

ambiante aux alentours de 16 °C (Von Hoermann et al., 2018), soit une température moyenne ambiante près de celle de notre étude qui était de 18,5 °C (min = 8 °C, max = 27 °C). Toutefois, la variation de la température ambiante sur notre site d'étude était faible ( $\pm 4$  °C), ce qui peut expliquer pourquoi nous n'avons pas observé d'effet de la température ambiante sur la présence des coléoptères nécrophages et nécrophiles. Un autre aspect important en lien avec la température est que nous n'avons pas pu utiliser les données de température interne des corps en raison de difficultés techniques avec les sondes de températures, ce qui a grandement réduit la quantité de données disponibles. Ces données auraient potentiellement influencé la relation entre les insectes et la température, puisqu'il est bien connu dans la littérature que la température interne influence grandement l'activité des insectes nécrophages (Guerroudj et Berchi, 2016).

Dans la littérature, la luminosité est également connue pour influencer les insectes nécrophages et nécrophiles et le processus de décomposition d'un cadavre. En effet, plusieurs études ont montré que l'intensité lumineuse pouvait influencer la vitesse de décomposition d'un corps et de ce fait, le moment de colonisation ainsi que la présence et l'absence de certaines espèces (Hobischack et al., 2006 ; Sharanowski et al., 2008 ; Bygarski et LeBlanc, 2013). Par exemple, certaines familles de coléoptères montrent une préférence pour les milieux ensoleillés (p. ex : Scarabaeidae et Histeridae ; Sharanowski et al., 2008), alors que d'autres espèces préfèrent les milieux ombragés (p. ex : *O. cingulatus*, Staphylinidae ; Hobischack et al., 2006). Il est intéressant de constater que trois groupes de coléoptères étaient significativement influencés par la



luminosité dans notre étude. Parmi les coléoptères, seul *N. americana* présentait une préférence pour les milieux ensoleillés (environ 3000 lux), bien que cette espèce ne soit généralement pas citée comme étant affectée par la luminosité. Trois groupes de coléoptères, soit *N. surinamensis*, les larves de Silphidae et *O. nearctica*, présentaient, quant à eux, une préférence pour les milieux ombragés. Pour *N. surinamensis* et les larves de Silphidae, nos observations pourraient s'expliquer par le fait que cette famille a besoin de cadavres qui ne sont pas desséchés, et cela pour toute la durée de leur cycle de reproduction et de croissance. Puisque la lumière a tendance à favoriser l'assèchement des cadavres, les Silphidae vont plutôt préférer un cadavre sous un milieu ombragé (Ratcliffe, 1972). Pour ce qui est d'*O. nearctica*, sa préférence pour les milieux ombragés s'explique difficilement puisque peu d'études ont été réalisées sur les Nitidulidae (Byrd et Tomberlin, 2020). Les autres coléoptères nécrophages et nécrophiles observés dans cette étude (*O. novaboracense*, *N. americana* au stade larvaire, *P. fossator*, *O. cingulatus* et *N. rufipes*) ne présentaient aucune préférence pour l'un des deux types de milieux, suggérant que la luminosité a peu d'influence sur la présence de ces espèces.

Le dernier facteur environnemental que nous avons étudié dans ce projet est la pluviométrie. Dans la littérature, l'effet de la pluviométrie sur les coléoptères nécrophages et nécrophiles est rarement étudié. Cependant, l'article de Cockle et Bell (2015) indique que celle-ci avait peu d'impact sur le processus de décomposition. Néanmoins, nos résultats indiquent qu'un groupe de coléoptères, soit les larves de Silphidae, étaient influencés de manière négative par la pluviométrie. Cette relation a

aussi été observée chez d'autres groupes de coléoptères, comme les Geotrupidae et les Scarabaeidae (Englmeier et al., 2023). Malgré cela, nos résultats indiquent que la pluviométrie n'a pas beaucoup d'impact pour la détermination de l'intervalle post-mortem, puisque seules les larves de Silphidae (sur les humains de 210 à 510 degrés-jours et sur les cochons de 290 à 560 degrés-jours) étaient influencées par celle-ci.

En plus des facteurs environnementaux en tant que tels, nous avons voulu observer quelles familles ou espèces de coléoptères étaient associées aux mêmes conditions environnementales. À cet effet, nos résultats ont montré qu'*O. nearctica* et *N. rufipes* étaient sensiblement associés au même stade de décomposition (TBS), à savoir les derniers stades de décomposition (*décomposition avancée* et *restes secs*). Plusieurs études au Canada ont noté que ces espèces arrivaient souvent à des moments similaires dans le processus de décomposition (Sharanowski et al., 2008 ; Maisonhaute et Forbes, 2021). Une autre association de familles et d'espèces que nous avons observée est celle des Carabidae, des Histeridae et de l'espèce *C. maxillosus* (Staphylinidae). Cette fois, nos résultats montrent que ce groupe était peu sensible à l'ensemble des facteurs environnementaux (température ambiante, luminosité, précipitation) et au stade de décomposition du cadavre (TBS, degrés-jours accumulés). Cela s'explique aisément puisque cette association de coléoptères est composée uniquement de prédateurs qui vont coloniser les corps aussi longtemps qu'il y aura des proies présentes. Outre notre étude, peu d'études se sont intéressées à cette association (Maisonhaute et Forbes, 2021). Bien que certaines espèces coexistent dans les mêmes conditions environnementales, d'autres sont associées à des conditions

environnementales opposées. C'est ce que nos résultats montrent puisque *N. americana* était opposé à *O. nearctica* pour toutes les conditions environnementales. Ainsi, alors que *N. americana* est un colonisateur hâtif qui préfère les milieux ensoleillés et pluvieux, *O. nearctica* est plutôt un colonisateur tardif qui préfère les milieux ombragés et secs.

Pour finir, cette étude a permis de mieux comprendre quels facteurs environnementaux influencent les coléoptères nécrophages et nécrophiles du Québec. Par exemple, nous avons pu mettre en lumière le peu d'influence qu'avait la température ambiante et la pluviométrie sur les coléoptères observés. Notre étude a toutefois permis de souligner l'influence de la luminosité sur quatre espèces de coléoptères, dont une au stade larvaire. Cependant, nos résultats indiquent que bien que les facteurs environnementaux que nous avons mesurés (température ambiante, luminosité et pluviométrie) influencent en partie (19 %) la présence et l'absence des coléoptères nécrophages et nécrophiles, une grande partie (81 %) demeure inexpliquée. Cette partie inexpliquée pourrait être due à des facteurs que nous n'avons pas pris en compte dans cette étude, telle que le type de sol (Von Hoermann et al., 2018), le taux d'humidité ambiant (Von Hoermann et al., 2018), l'habitat (Engasser et al., 2021) et même le vent (Murlis et al., 1992). Il semble donc que plusieurs autres facteurs environnementaux sont encore à étudier pour bien comprendre ce qui influence la présence et l'absence des coléoptères nécrophages et nécrophiles que l'on retrouve au Québec.

#### 4.5 LIMITES DE L'ÉTUDE

Bien que nous ayons été en mesure de répondre à tous nos objectifs, la petite taille d'échantillon ( $n = 3$  paires humain-cochon) représente une limite importante de notre étude. En effet, en raison des variations interindividuelles (p. ex : âge, masse corporelle, taille, traitements médicaux), il est essentiel d'augmenter le nombre de répétitions, ce qui n'est toutefois pas aisé à cause de difficulté de se procurer les corps des donneurs humains (Matuszewski et al., 2019). De plus, le site REST[ES] accueillait déjà un nombre élevé de cadavres humains ( $n = 10$ ), au moment de l'étude, ce qui empêchait de respecter la distance minimale recommandée de 50 mètres pour diminuer le risque que les insectes contaminent d'autres corps (Matuszewski et al., 2019). Bien que nous ayons maintenu une distance humain-cochon inférieur à la distance humain-humain, il est probable que des individus de la communauté des insectes nécrophages et nécrophiles aient réussi à coloniser un autre cadavre. En effet, bien que la distance entre les cadavres représente un obstacle, cela ne garantit pas qu'aucun insecte ne provienne d'un autre cadavre présent sur le site. Cependant, les différentes paires humain-cochon étaient déposées à des intervalles d'environ un mois, ce qui signifie que les cadavres n'étaient pas tous au même stade de décomposition au même moment, limitant ainsi le risque d'interférence de la part d'insectes provenant d'un autre corps. Une autre limite de notre étude est que nos paires humain-cochon n'étaient pas déposées exactement au même moment (délai minimal = 3 jours ; délai maximal = 17 jours ; délai moyen = 7,6 jours), diminuant potentiellement la fiabilité de nos

comparaisons entre les deux types de corps. Néanmoins, cette limite est due à des facteurs hors de notre contrôle puisque l'arrivée des donneurs humains était imprévisible comparé à celle des cadavres porcins.

## 5. CONCLUSION

Notre étude s'ajoute au nombre limité de recherches qui ont étudié le processus de décomposition et la succession des espèces de coléoptère nécrophages et nécrophiles sur des cadavres humains et porcins simultanément (Wang et al., 2017 ; Connor et al., 2018 ; Knobel et al., 2019 ; Dawson et al., 2020). D'une part, notre étude souligne l'importance d'effectuer des études locales, puisque la succession des espèces de coléoptères que nous avons observées diffère de celle observée dans d'autres régions que ce soit d'autres pays ou même au sein d'autres provinces du Canada. Notre étude démontre également l'importance d'utiliser des cadavres humains lors d'études médico-légales, puisque le processus de décomposition et la succession des espèces de coléoptères différaient entre les cadavres humains et porcins. En effet, même si les cadavres humains et les cadavres porcins arrivaient au stade de *restes secs* presque simultanément, les humains avaient tendance à se momifier. De plus, bien que les espèces de coléoptères qui colonisaient les cadavres humains et porcins étaient similaires sur les deux types de cadavres, celles-ci n'arrivaient pas nécessairement au même moment sur les deux types de cadavres durant le processus de décomposition. Notre étude a également montré que certains coléoptères nécrophages et nécrophiles tel que *N. americana*, *O. noveboracense* et *N. rufipes* pouvaient être utilisés pour estimer l'intervalle post-mortem dans des régions ayant un climat similaire au Québec.

Ainsi, la présence de *N. americana* et d'*O. noveboracense* était indicatrice des premiers stades de décomposition (*frais et gonflé*), alors que celle de *N. rufipes* était plutôt indicatrice des derniers stades de décomposition (*décomposition avancée, restes secs, momification*). Ainsi, bien qu'il ne s'agisse pas de la méthode la plus précise pour estimer l'IPM, l'identification de la succession des espèces de coléoptère durant le processus de décomposition d'un cadavre pourrait tout de même aider les forces de l'ordre à déterminer le moment de décès d'un cadavre, par exemple, en l'absence de d'autres éléments permettant cette détermination et en particulier si le cadavre est découvert tard dans le processus de décomposition. L'analyse des facteurs environnementaux a également permis d'associer certaines espèces de coléoptère à des conditions environnementales particulières, telle que la température et la luminosité, pouvant potentiellement aider les enquêteurs à mieux comprendre la structure de la communauté de coléoptères nécrophages et nécrophiles trouvée sur un cadavre en milieu forestier.

En ce qui concerne les retombées possibles de notre étude, nous pensons que, malgré la faible taille d'échantillon et le délai entre le dépôt de certains corps, notre étude a permis d'identifier les coléoptères nécrophages et nécrophiles importants dans le processus de décomposition, et ce, autant chez l'humain que chez le cochon, pour toute la saison estivale. De plus, les données collectées durant cette étude vont nous permettre de réaliser un guide d'identification des coléoptères nécrophages et nécrophiles importants dans la province du Québec, qui aura pour objectif de faciliter le travail des enquêteurs en leur permettant d'identifier plus aisément les coléoptères

nécrophages et nécrophiles que l'on retrouve au Québec. Dans le futur, il serait également intéressant de réaliser une étude similaire à la nôtre, mais qui aurait lieu durant des saisons différentes. En effet, comme les coléoptères sont généralement fortement influencés par la température ambiante (Ozdemir et Sert, 2009 ; Prado e Castro et al., 2013), l'effet des saisons devrait grandement modifier l'activité des insectes décomposeurs (Arcand et al., 2023). Un autre aspect qu'il serait intéressant d'étudier pour des projets de recherche serait d'inclure d'autres facteurs environnementaux, tels que le type de sol, le taux d'humidité ou même le niveau d'intensité du vent et d'autres types d'habitats (p. ex : milieux ouverts, urbains et aquatiques). Il apparaît donc que notre étude représente l'un des premiers pas dans l'étude des coléoptères nécrophages et nécrophiles du Québec et que plusieurs autres sont encore nécessaires pour mieux comprendre cet ordre d'insecte qui occupe une place importante en entomologie légale.



## RÉFÉRENCES

- Amendt, J., Krettek, R., Zehner, R. (2004). Forensic entomology. *Naturwissenschaften*, 91, 51-65.
- Anderson, G. S. (2001). Forensic entomology in British Columbia: A brief history. *Journal of the Entomological Society of British Colombia*, 98, 127-135.
- Anderson, G. S., Pollanen, M. S., Bowes, M. J., VanLaerhoven, S. L., Wallace, J. (2013). Forensic science in Canada. *Journal of Forensic Science*, 1-114.
- Anderson, G. S., Huitson, N. R. (2004). Myiasis in pet animals in British Colombia: The potential of forensic entomology for determining duration of possible neglect. *The Canadian Veterinary Journal*, 45, 993-998.
- Anderson, R. S. (1982). Ressource partitioning in the carrion beetle (Coleoptera: Silphidae) fauna of southern Ontario: ecological and evolutionary considerations. *Canadian Journal of Zoology*, 60, 1314-1325.
- Arcand, P. -L., Forbes, S. L., Maisonhaute, J. -É. (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.

- Bajerlein, D., Matuszewski, S., Konwerski, S. (2011). Insect succession on carrion: seasonality, habitat preference and residency of histerid beetles (Coleoptera: Histeridae) visiting pig carrion exposed in various forests (Western Poland). *Polish Journal of Ecology*, 59 (4), 787-797.
- Battan Horenstein, M., Linhares, A. X. (2011). Seasonal composition and temporal succession of necrophageous and predator beetles on pig carrion in central Argentina. *Medical and Veterinary Entomology*, 25(4), 395-401.
- Baust, J. G., Rojas, R. R. (1985). Insect cold hardiness: facts and fancy. *Journal of Insect Physiology*, 31(10), 755-759.
- Benecke, M. (2001). A brief history of forensic entomology. *Forensic Science International*, 120, 2-14.
- Bousquet, Y., Campbell, J. M. (1991). Checklist of beetles of Canada and Alaska. Edited by Y. Bousquet, 253-261.
- Bousquet, Y., Laplante, S. (2006). The insects and arachnids of Canada. NRC Research Press, 24, 1-476.
- Brousseau, P. -M., Cloutier, C., Hébert, C. (2010). Selected Beetle Assemblages Captured in Pitfall Traps Baited With Deer Dung or Meat in Balsam Fir and Sugar Maple Forests of Central Quebec. *Environnemental Entomology*, 39 (4), 1151-1158.
- Bygarski, K., LeBlanc, H. N. (2013). Decomposition and Arthropod Succession in Whitehorse, Yukon Territory, Canada. *Journal of Forensic Sciences*, 58(2).

- Byrd, J. H., Tomberlin, J. K. (2020). *Forensic entomology The utility of arthropods in legal investigations* (Third edition). CRC Press.
- Cockle, D. L., Bell, L. S. (2015). Human decomposition and the reliability of a 'Universal' model for post mortem interval estimations. *Forensic Science International*, 253, 136.e1-136.e9.
- Connie, L. P. (2011). A Study of the Human Decomposition Sequence in Central Texas. *Journal of Forensic Sciences*, 56 (1), 19-22.
- Connor, M., Baigent, C., Hansen, E. S. (2018). Testing the Use of Pigs as Human Proxies in Decomposition Studies. *Journal of Forensic Sciences*, 63(5), 1350-1355.
- Dargan, R., Forbes, S. L. (2020). Cadaver-detection dogs: A review of their capabilities and the volatile organic compound profile of their associated training aids. *WIREs Forensic Science*, 3(6).
- Dawson, B. M., Barton, P. S., Wallman, J. F. (2020). Contrasting insect activity and decomposition of pigs and humans in an Australian environment: A preliminary study. *Forensic Science International*, 316.
- Dekeirsschieter, J., Frederick, C., Verheggen, F. J., Drugmand, D., Haubruge, E. (2013). Diversity of Forensic Rove Beetles (Coleoptera, Staphylinidae) Associated with Decaying Pig Carcass in a Forest Biotope. *Journal of Forensic Sciences*, 58(4).

- Dekeirsschieter, J., Verheggen, F., Frederickx, C. M., Lognay, G., Haubruge, E. (2012) Comment les insectes communiquent-ils au sein de l'« écosystème-cadavre »? L'écologie chimique des insectes nécrophages et nécrophiles. Entomologie faunistique Faunistic Entomology, 65, 3-13.
- Dekeirsschieter, J., Verheggen, F. J., Gohy, M., Hubrecht, F., Bourguignon, L., Lognay, G. Haubruge, E. (2009). Cadaveric volatile organic compounds released by decaying pig carcasses (*Sus domesticus* L.) in different biotopes. Forensic Science International, 189, 46-53.
- Downie, N. M., Arnett, R. H. (1996). The beetles of Northeastern North America. Sandhill Crane Press, 1, 1-880.
- Engasser, E. L., Stone, R. L., Jameson, M. L. (2021). Habitat Associations of Carrion Beetles(Coleoptera: Silphidae) Across a Full Annual Cycle. Environmental Entomology, 50(3), 605-614.
- Englmeier, J., Mitesser, O., Benbow, M. E., Hothorn, T., Von Hoermann, C., Benjamin, C., Fricke, U., Ganuza, C., Haensel, M., Redlich, S., Riebl, R., Botero, S. R., Rummler, T., Steffan-Dewenter, I., Stengel, E., Tobisch, C., Uhler, J., Uphus, L., Zhang, J., Müller, J. (2023). Diverse Effects of Climate, Land use, and Insects on Dung and Carrion Decomposition. Ecosystems, 26, 397-411.
- Ericsson, A. C., Crim, M. J., Franklin, C. L. (2013). A Brief History of Animal Modeling. Missouri Medecine, 110(3), 201-205.
- Fikáček, M., Gentili, E., Short, A. E. Z. (2010). Order Coleoptera, family Hydrophilidae. Arthropod fauna of the UAE, 3, 135-165.

- Finaughty, D. A., Morris, A. G. (2019). Precocious natural mummification in a temperate climate (Western Cape, South Africa). *Forensic Science International*, 303.
- Frederickx, C., Dekeirsschieter, J., Verheggen, F. J., Haubruge, E. (2010). L'entomologie médico-légale, les insectes résolvent les crimes. *Entomologie faunistique – Faunistic Entomology*, 63 (4), 237-249.
- Galante, E., Garcia-Roman, M., Barrera, I., Galindo, P. (1991). Comparison of Spatial Distribution Patterns of Dung-Feeding Scarabs (Coleoptera: Scarabaeidae, Geotrupidae) in Wooded and Open Pasturland in the Mediterranean “Dehesa” Area of the Iberian Peninsula. *Environmental Entomology*, 20 (1), 90-97.
- Gallant, D., Lessard, F., Mook, I. (2022). Attraction of adult Silphidae and Staphylinidae (Coleoptera) to river otter latrines. *Acadian Entomology Society*, 18, 18-22.
- Gennard, D. (2012). *Forensic entomology: an introduction* (Second edition). John Wiley & Sons, 1-266.
- Goff, M. L. (2009). Early post-mortem changes and stages of decomposition in exposed cadavers. *Experimental and applied acarology*, 49(1), 21-36.
- Guerroudj, F. Z., Berchi, S. (2016). Effect of temperature on the development of carrion beetle *Silpha rugosa* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Silphidae) in Algeria. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4 (5), 920-922.

- Hasan, M. M., Athanassiou, C. G., Schilling, M. W., Phillips, T. W. (2020). Biology and management of the red-legged ham beetle, *Necrobia rufipes* DeGeer (Coleoptera: Cleridae). *Journal of Stored Products Research*, 88.
- Hobischak, N. R., VanLaerhoven, S. L., Anderson, G. S. (2006). Successional patterns of diversity in insect fauna on carrion in sun and shade in the Boreal Forest Region of Canada, near Edmonton, Alberta. *The Canadian Entomologist*, 138, 376-383.
- Hyde, E. R., Haarmann, D. P., Petrosino, J. F., Lynne, A. M., Bucheli, S. R. (2015). Initial insights into bacterial succession during human decomposition. *International journal of legal medicine*, 129(3), 661-71.
- Katovich, K., Kriska, N. L., Williams, A. H., Young, D. K. (2005). Carrion Beetles (Coleoptera: Silphidae) of Wisconsin. *The Great Lakes Entomologist*, 38(1-2), 1-4.
- Keough, N., Myburgh, J., 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., 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.
- Kočárek, P. (2003). Decomposition and Coleoptera succession on exposed carrion of small mammal in Opava, the Czech Republic. *European journal of soil biology*, 39(1), 31-45.

- Labrie, G., Coderre, D., Lucas, E. (2008). Overwintering strategy of multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae): cold-free space as a factor of invasive success. *Annals of the Entomological Society of America*, 101(5), 860-866.
- Langer, S. V., Kyle, C. J., Illes, M., Larkin, S., 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.
- Larsen, K. J., Work, T. T., Purrington, F. F. (2003). Habitat use patterns by ground beetles (Coleoptera: Carabidae) of northeastern Iowa. *Pedobiologia*, 47(3), 288-299.
- LeBlanc, H. N. (2008). Olfactory stimuli associated with the different stages of vertebrate decomposition and their rôle in the attraction of the blowfly *Calliphora vomitoria* (Diptera: Calliphoridae) to carcasses. University of Derby, 1-206.
- Leblanc, H. N., Logan, J. G. (2010). Exploiting insect olfaction in forensic entomology. *Current concepts in forensic entomology*, 205-221.
- LeBlanc, H. N., Strongman, D. B. (2002). Carrion insects associated with small pig carcasses during fall in Nova Scotia. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 35 (3), 145-152.
- Leccia, C., Alunni, V., Quatrehomme, G. (2018). Modern (forensic) mummies: A study of twenty cases. *Forensic Science International*, 288, 330-330.

- Lees, A. D. (1955). The physiology of diapause in arthropods (No. 4). CUP Archive.
- Li, F. -R., Liu, J. -L., Liu, C. -A., Liu, Q. -J., Niu, R. -X. (2012). Shrubs and species identity effects on the distribution and diversity of ground-dwelling arthropods in a Gobi desert. *Journal of Insect Conservation*, 17, 319-331.
- Lombardero, M. J., Ayres, M. P., Ayres, B. D., Reeve, J. D. (2000). Cold tolerance of four species of bark beetle (Coleoptera: Scolytidae) in North America. *Environmental Entomology*, 29(3), 421-432.
- Lövei, G. L., Sunderland, K. D. (1996). Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Annual Reviews of Entomology*, 41, 231-256.
- Magni, P. A., Voss, S. C., Testi, R., Borrini, M., Dadour, I. R. (2015). A biological and procedural review of forensically significant *Dermestes* species (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of medical entomology*, 52(5), 755-69.
- Maisonhaute, J. -E., Forbes, S. L. (2023). Decomposition and insect succession on human cadavers in a humid, continental (Dfb) climate (Quebec, Canada). *International Journal of Legal Medicine*, 137, 493-509.
- Maisonhaute, J. -E., Forbes, S. L. (2021). Decomposition process and arthropod succession on pig carcasses in Quebec (Canada). *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 54(1), 1-26.



- Majka, C. G., Cline, A. R. (2006). Nitidulidae and Kateretidae (Coleoptera: Cucujoidea) of the Maritime provinces of Canada. 1. New records from Nova Scotia and Prince Edward Island. *The Canadian Entomologist*, 138, 314-332.
- Majka, C. G., Bouchard, P., & Bousquet, Y. (2008). Tenebrionidae (Coleoptera) of the Maritime provinces of Canada. *The Canadian Entomologist*, 140(6), 690-713.
- Majka, C. G., Langor, D. (2008). The Leiodidae (Coleoptera) of Atlantic Canada: new records, faunal composition, and zoogeography. *ZooKeys*, 2, 357-402.
- Marella, G. L., Perfetti, E., Manciocchi, S., Arcudi, G. (2013). A case of « precocious » mummification. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 20, 122-124.
- Marshall, S. A. (2018). *Beetles: The Natural History and Diversity of Coleoptera* (First edition). Firefly books Ltd, 1-783
- Martin-Vega, D. (2011). Skipping clues: Forensic importance of the family Piophilida (Diptera). *Forensic Science International*, 212, 1-5. (Diptera).
- Mathur, A., & Agrawal, Y. K. (2011). An overview of methods used for estimation of time since death. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 43(4), 275-85.
- Matuszewski, S., Hall, M. J., Moreau, G., Schoenly, K. G., Tarone, A. M., & Villet, M. H. (2019). Pigs vs people: the use of pigs as analogues for humans in forensic entomology and taphonomy research. *International journal of legal medicine*, 134(2), 793-810.

- Megnin, J. P. (1894). La Faune des Cadavres, Application de l'Entomologie à la Médecine Légale. Encyclopédie Science, 1-224.
- Megyesi, M. S., Nawrocki, S. P., Haskell, N. H. (2005). Using ADD to estimate the postmortem interval from decomposed human remains. Journal of Forensic Sciences, 50(3), 1-9.
- Michaud, J. -P., Moreau, G. (2011). A statistical approach based on accumulated degree-days to predict decomposition-related process in forensic studies. Journal of Forensic Science, 56 (1), 1-4.
- Midgley, J. M., Richards, C. S., Villet, M. H. (2009). The Utility of Coleoptera in Forensic Investigations, Springer Dordrecht, 57-68.
- Miles, K. L., Finaughty, D. A., Gibbon, V. E. (2020). A review of experimental design in forensic taphonomy: moving towards forensic realism. Forensic Sciences Research, 5(4), 249-259.
- Moreau, G. (2021). The pitfalls in the path of probabilistic inference in forensic entomology: A review. Insects, 12, 1-11.
- Mula, T. (2023). New methods for establishing time of death when dealing with natural mummification from bog environments. COMPASS, 3 (2), 147-160.
- Murlis, J., Elkinton, J. S., Cardé, R. T. (1992). Odor plumes and how insects use them. Annual Review of Entomology, 37, 505-532.

- Nadeau, P., Thibault, M., Horgan, F. G., Michaud, J. -P., Gandiaga, F., Comeau, C., Moreau, G. (2015). Decaying matters: Coleoptera involved in heterotrophic systems. Nova Science Publishers Inc, 1, 123-174.
- Nurminen, N., Lipkin, S., Kuha, A., Väre, T., Marjakangas, S., Niskanen, M., Junno, J. -A. (2017). Experimental mummification in northern Finland. *Fennoscandia archaeologica*, 34, 146-151.
- Ortloff, A., Zanetti, N., Centeno, N., Silva, R., Bustamante, F., Olave, A. (2014). Ultramorphological characteristics of mature larvae of *Nitidula carnaria* (Schaller 1783) (Coleoptera: Nitidulidae), a beetle species of forensic importance. *Forensic science international*, 239, e1-e9.
- Otero, J. C., Ghahari, H. (2017). A checklist of latridiidae (Coleoptera cucujoidea) of Iran. *REDIA*, 100, 119-124.
- Özdemir, S., Sert, O. (2009). Determination of Coleoptera fauna on carcasses in Ankara province, Turkey. *Forensic Science International*, 183, 24-32.
- Parks, C. L. (2011). A study of the human decomposition sequence in central Texas. *Journal of Forensic Sciences*, 56 (1), 2-4.
- Payne, J. A. (1965). A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. *Ecological Society of America*, 46(5), 592-602.
- Pecsi, E. L., Bronchti, G., Crispino, F., Frobes, 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.

- Popescu, L. -E., Losier, C., Moreau, G. (2023). When the red-lined carrion beetle disrupts successional dynamics on large vertebrate carcasses. *Forensic Science International*, 344.
- Powell, G. S., Weidner, L. M. (2023). A key to the forensically important sap beetles (Coleoptera: Nitidulidae) of North America. *Journal of Forensic Entomology*, 1.
- Prado e Castro, C., Garcia, M. D., Martins da Silva, P., Faria e Silva, I., Serrano, A. (2013). Coleoptera of forensic interest: A study of seasonal community composition and succession in Lisbon, Portugal. *Forensic Science International*, 232, 73-83.
- Price, M. B., Young, D. K. (2006). An annotated checklist of Wisconsin sap and short winged flower beetles (Coleoptera: Nitidulidae, Kateretidae). *Insecta Mundi*, 109.
- Ratcliffe, B. C. (1972). The Natural History of *Necrodes Surinamensis* (Fabr.) (Coleoptera : Silphidae). *American Entomological Society*, 98(4), 359-410.
- Ratcliffe, B. C. (1996). The Carrion Beetles (Coleoptera: Silphidae) of Nebraska. University of Nebraska State Museum.
- Rivers, D. B., Dahlem, G. A. (2014). *The Science of Forensic Entomology* (1st edition). John Wiley & Sons Ltd.

- Rodriguez, W. D., Navarrete-Heredia, J. L., Klimaszewski, J. (2018). Rove beetles collected with carrion traps (Coleoptera: Staphylinidae) in *Quercus* forest of Cerro de Garcia, Jalisco and *Quercus*, *Quercus*-pine, and pine forests in other jurisdictions of Mexico. *Zootaxa*, 4433(3), 457-477.
- Roth, L. M., Willis, E. R. (1957). The medical and veterinary importance of cockroaches. *Smithsonian Miscellaneous Collection*, 134 (10), 1-158.
- Schnell, G. D., Hiott, A. E., Creighton, J. C., Smyth, V. L., Komendat, A. (2008). Factors affecting overwinter survival of the American burying beetle, *Nicrophorus americanus* (Coleoptera: Silphidae). *Journal of Insect Conservation*, 12(5), 483-492.
- Schoenly, K. G., Haskell, N. H., Hall, R. D., Gbur, R. (2007). Comparative Performance and Complementarity of Four Sampling Methods and Arthropod Preference Tests from Human and Porcine Remains at the Forensic Anthropology Center in Knoxville, Tennessee. *Journal of Medical Entomology*, 44 (5), 881-894.
- Schroeder, H., Klotzbach, H., Oesterhelweg, L., Püschel, K. (2002). Larder beetles (Coleoptera, Dermestidae) as an accelerating factor for decomposition of a human corpse. *Forensic Science International*, 127(3), 231-236.
- Séguin, K., Durand-Guévin, A., Lavallée, C., Ouimet, F., Maisonhaute, J. -É., Watson, C. J., Forbes, S. L. (2021). The taphonomic impact of scavenger guilds in southern Quebec during summer and fall in two distinct habitats. *Journal of Forensic Sciences*, 00, 1-11.

- Simmons, P., Ellington, G. W. (1925). The ham beetle, *Necrobia rufipes* DE GEER. Govern. Print. Office.
- Sharanowski, B. J., Walker, E. G., Anderson, G. S. (2008). Insect succession and decomposition patterns on shaded and sunlit carrion in Saskatchewan in three different seasons. *Forensic Science International*, 179, 219-240.
- Shubeck, P. P., Downie, N. M., Wenzel, R. L., Peck, S. B. (1977). Species composition of carrion beetles in a mixed-oak forest. *William L. Hutcheson Memorial Forest Bulletin*, 4(1), 12-17.
- Smith, R. J. (2002). Effect of larval body size on overwinter survival and emerging adult size in the burying beetle, *Nicrophorus investigator*. *Canadian Journal of Zoology*, 80 (9), 1588-1593.
- Stovall, G. (2013). *Lucanus Cervus* Stag Beetle Life Cycle, Life Biological Science Picture Library, 1-5.
- Tabor, K. L., Brewster, C. C., Fell, R. D. (2004). Analysis of the successional patterns of insects on carrion in southwest Virginia. *Journal of Medical Entomology*, 41(4), 785-795.
- Taillefer, A. G., Giroux, M. (2021). Étude de la diversité des insectes nécrophages associés à 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.
- VanLaerhoven, S. L., Anderson, G. S. (1996). Determining time of death in buried homicide victims using insect succession. *Canadian Police Research Center*, 02-96.

- Vass, A. A. (2001). Beyond the grave – understanding human decomposition. *Microbiology Today*, 28, 190-192.
- Von Hoermann, C., Jauch, D., Kubotsch, C., Reichel-Jung, K., Steiger, S., Ayasse, M. (2018). Effects of abiotic environmental factors and land use on the diversity of carrion visiting silphid beetles (Coleoptera: Silphiadae): A large scale carrion study. *Plos One*, 1-24.
- Voss, S. C., Forbes, S. L., Dadour, I. R. (2007). Decomposition and insect succession on cadavers inside a vehicle environment. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 4, 22-32.
- Wang, Y., Hu, G., Liu, N., Wang, M., Chen, R., Zhu, R., Wang, Y., Ren, X., Wang, Y., Xu, W., Luo, C., Wang, J., Xia, S., Xiu, X. (2021). Development of *Dermestes tessellatocollis* Motschulsky under different constant temperatures and its implication in forensic entomology. *Forensic Science International*, 321.
- Wang, Y., Ma, M., Jiang, X.-Y., Wang, J.-F., Li, L.-L., Yin, X.-J., Wang, M., Lai, Y., Tao, L.-Y. (2017). Insect succession on remains of human and animals in Shenzhen, China. *Forensic Science International*, 271, 75-86.
- Webster, R. P., Sweeney, J. D., DeMerchant, I. (2012). New Coleoptera records from New Brunswick, Canada: Geotrupidae and Scarabaeidae. *ZooKeys*, (179), 27.
- Weithmann, S., Kuppler, J., Degasperi, G., Steiger, S., Ayasse, M., Von Hoermann, C. (2020). Local and landscape effects on carrion-associated rove beetle (Coleoptera: Staphylinidae) communities in German forests. *Insects*, 11, 1-16.

- Wescott, D. J., Steadman, D. W., Miller, N., Sauerwein, K., Clemmons, C. M. J., Gleiber, D. S., McDanel, C., Meckel, L., Bytheway, J. A. (2018). Validation of Total Body Score/ Accumulated Degree-Day model at three human decomposition facilities. *Forensic Anthropology*, 1(3), 143-149,
- Whitfield, J. B., Purcell III, A.H. (2012). *Daly and Doyen's introduction to Insect Biology and Diversity* (Third Edition). Oxford University Press.



