

Université de Liège - Faculté des Sciences - Gembloux Agro-Bio Tech
Unité d'entomologie fonctionnelle et évolutive (Prof. E. Haubruge)

Etude comparative de la colonisation entomologique *post-mortem* sur carcasses de porc (*Sus domesticus* L.) mort par overdose de cocaïne et de pentobarbital.

Année académique : 2009 - 2010

Mémoire de fin d'étude présenté par

Caparros Megido Rudy

Promoteur :

Haubruge Eric

En vue de l'obtention du diplôme de
Master en Biologie des Organismes
et Ecologie, à finalité approfondie.

Ce mémoire a été imprimé sur des feuilles de papier labellisé FSC (Forest Stewardship Council).
Ce label garantit que le produit est fabriqué avec du bois issu d'une forêt gérée durablement en
tenant compte de l'environnement et des droits sociaux des communautés locales.

Remerciements

Au terme de ce mémoire, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à son élaboration.

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur le Professeur Eric Haubruge qui m'a accueilli au sein de l'Unité d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive et qui a permis la mise en place, non sans difficulté, de cette expérimentation et ce, avec l'aide indispensable du DVI Belgique. Je remercie également le Professeur Boxho Philippe pour son aide dans la détermination des doses létales de drogues. Cette expérimentation n'aurait également pas pu avoir lieu sans l'intervention de Monsieur le Vice-Doyen de la faculté de Médecine Vétérinaire Leroy Pascal, je le remercie vivement pour son aide à un moment critique.

Je tiens également à remercier chaleureusement Jessica Dekeirsschieter pour ses conseils avisés et ses nombreuses relectures et ce, sans sourciller. Je la remercie d'avoir pris de son temps afin de m'apprendre à déterminer « facilement » les insectes et afin de mettre en place l'expérimentation de terrain.

Je remercie fortement les futurs docteurs, du moins je l'espère, Campisi Vincent, Campion Morgane, Gillet François, Momont Nicolas et Timmermann Mickaël pour m'avoir aidé dans le tri et le comptage d'une partie de mes pires piluliers à insectes. Je remercie également Dekempener Thibaud, ex biologiste et futur ergothérapeute, pour sa présence sur le terrain à plusieurs reprises. Il m'a certainement empêché de passer quelques nuits au milieu des militaires.

Je remercie mes parents qui ont toujours eu confiance en moi et qui ont toujours été présents, même dans les moments les plus délicats. Je les remercie énormément de s'être sacrifié afin de financer, sans rechigner, mes études et mes sorties.

Finalement, je tiens à remercier Morgane qui me supporte depuis plus de deux ans. Je la remercie d'avoir été présente dans les moments de doute que j'ai eu durant ce dernier mois...Elle a toujours été là pour me reconforter et pour m'aider quand j'en avais le plus besoin. Je terminerai juste en lui disant que nos rêves d'Afrique se concrétisent, chaque jour, de plus en plus ...

Résumé - Les décès par suite d'overdose de nombreux toxicomanes étant en augmentation, les médecins légistes se trouvent, de plus en plus, face à des cadavres dans un état de décomposition avancée. Ceux-ci ont donc recours à des entomologistes forensiques afin de les aider dans la détermination de la cause du décès et dans l'estimation du moment de la mort. Dès lors, la présente étude s'intéresse à la colonisation entomologique *post-mortem* de carcasses de porc (*Sus domesticus* L.) mort par overdose de cocaïne et de pentobarbital. Pour ce faire, trois carcasses de porc (un témoin, un mort par overdose de cocaïne et un mort par overdose de pentobarbital) ont été disposées dans un site forestier afin de déterminer une éventuelle différence de colonisation par les insectes nécrophages en fonction de la présence de drogues. Des bacs jaunes ainsi que des « *pitfall trap* » ont été utilisés afin de piéger les insectes nécrophages. Les Diptères de la famille des Calliphoridae, les plus importants en entomologie forensique, n'ont montré aucune différence significative de leurs effectifs en fonction du temps entre les trois carcasses. Cependant, il semblerait que le développement de leurs larves soit affecté par la présence de drogues dans leur substrat nourricier. Notre étude montre que les Coléoptères de la famille des Silphidae présentent une colonisation différente entre les trois carcasses au cours du temps. Ces résultats indiquent que la présence de drogues pourrait influencer l'estimation des intervalles *post-mortem* (IPMs). Il serait donc intéressant de poursuivre les recherches sur le développement des larves se nourrissant sur un substrat contenant des drogues ainsi que sur la biologie des Silphidae, encore mal connue à l'heure actuelle.

Table des matières

1. Introduction générale du mémoire	1
2. La thanatomorphose	2
2.1 La décomposition du corps	2
2.1.1 Le stade initial ou « Fresh »	3
2.1.2 Le stade de gonflement ou « Bloating »	4
2.1.3 La décomposition active ou « Active decay »	4
2.1.4 La décomposition avancée ou « Advanced decay »	6
2.1.5 Le squelettonisation ou « Skeletonization »	6
2.2 Les facteurs influençant la décomposition	7
3. La colonisation du corps par les insectes	7
3.1 Historique	7
3.2 Les arthropodes associés aux cadavres	9
3.2.1 Les groupes écologiques	9
3.2.2 Les Diptères	10
3.2.2.1 <i>Le cycle biologique des Diptères</i>	11
3.2.3 Les Coléoptères	12
3.2.3.1 <i>Le cycle biologique des Coléoptères</i>	12
3.3 Utilisation des insectes dans les enquêtes judiciaires	13
3.3.1 L'intervalle post-mortem ou l'IPM	13
3.3.1.1 <i>Calcul du cycle de développement des premiers insectes colonisant le cadavre</i>	14
L'entomotoxicologie	15
4.1 Historique	16
4.2 Impact des xénobiotiques sur le développement des insectes associés aux cadavres	16

4.2.1 Le pentobarbital	17
4.2.2 La cocaïne	18
5. Matériels et méthodes	19
5.1 Site d'expérimentation	19
5.2 Matériel biologique	19
5.3 Euthanasie	20
5.3.1 Méthode physique	20
5.3.2 Méthode chimique	20
5.3.2.1 <i>Pentobarbital</i>	20
5.3.2.2 <i>Cocaïne</i>	22
5.4 Observations et récoltes entomologiques	23
5.4.1 Mesures environnementales	23
5.4.2 Observations visuelles	23
5.4.3 Volume corporel	23
5.4.4 Piégeage de l'entomofaune	23
5.4.4.1 <i>Bacs jaunes</i>	23
5.4.4.2 <i>Pitfall traps</i>	24
5.4.5 Détermination des insectes	24
5.5 Description des stades de décomposition	24
5.6 Description des groupes écologiques	24
5.7 Tableau des familles d'insectes ayant un intérêt en entomologie forensique	25
5.8 Analyses statistiques	25
5.8.1 Test de Friedman	25
5.8.2 Test des rangs signés de Wilcoxon	26
6. Résultats et discussions	27
6.1 Les stades de décomposition	27

6.2 L'entomofaune nécrophage	28
6.2.1 Observations visuelles des stades juvéniles : pontes et stades larvaires de Diptères	28
6.2.2 Les groupes écologiques autour d'une carcasse en décomposition	29
6.2.3 Diptères	31
<i>6.2.3.1 Ensemble des Diptères récoltés lors de l'expérimentation</i>	<i>31</i>
<i>6.2.3.2 Les familles de Diptères les plus importantes en entomologie forensique</i>	<i>32</i>
<i>6.2.3.3 Les espèces de Calliphoridae</i>	<i>35</i>
6.2.4 Coléoptères	36
<i>6.2.4.1 Ensemble des Coléoptères récoltés lors de l'expérimentation</i>	<i>36</i>
<i>6.2.4.2 Les familles de Coléoptères les plus importantes en entomologie forensique</i>	<i>37</i>
<i>6.2.4.3 Les espèces de Silphidae</i>	<i>40</i>
7. Conclusions et perspectives	41

1. Introduction générale du mémoire

Lorsqu'une personne décède, les principales tâches du médecin légiste seront de déterminer la cause ou les causes du décès mais également le moment du décès. Après les septante-deux premières heures, le médecin légiste n'a plus, en sa possession, de méthode fiable permettant d'estimer le moment du décès, si ce n'est l'utilisation de l'entomofaune avec l'aide d'un entomologiste (Benecke, 2004 ; Sabanoglu, 2010). La discipline étudiant la colonisation d'un cadavre par les insectes se nomme l'entomologie forensique. On parle également d'entomologie criminelle, judiciaire, légale ou encore médico-légale (Campobasso *et al.*, 2001).

L'entomologiste forensique aura pour but de « faire parler » les insectes présents sur un cadavre. Il pourra estimer l'intervalle de temps depuis la mort de l'individu, à l'aide des insectes nécrophages présents sur le cadavre et ce, jusqu'à plusieurs mois après le décès (Amendt *et al.*, 2004). Il pourra rendre compte d'une manipulation du cadavre si une espèce d'insecte, ayant une répartition géographique étrangère à la scène crime, est retrouvée mais il pourra également, à l'aide d'examen toxicologiques sur les insectes et leurs larves, déterminer la présence de drogues ou d'un tout autre toxique (Amendt *et al.*, 2004). Ce dernier rôle de l'entomologiste forensique a donné naissance à une discipline, à part entière et récente, qui n'est autre que l'entomotoxicologie.

Etant donné que les insectes (et leur succession) peuvent varier en fonction des différentes régions biogéographiques et dans différents habitats écologiques (Amendt *et al.*, 2000, Campobasso *et al.*, 2001), il est intéressant d'apporter de nouvelles informations concernant les biotopes forestiers belges. De plus, l'augmentation des décès liés à la prise de doses importantes de drogues (cocaïne et héroïne principalement) justifie le grand intérêt porté à l'entomotoxicologie (Introna *et al.*, 2001). Fréquemment, le corps de la victime reste introuvable durant une longue période de temps, vu les comportements asociaux manifestés par les personnes dépendantes. Cette dernière est donc retrouvée à un stade avancé de la décomposition (Amendt *et al.*, 2010). Il se pourrait donc qu'il n'y ait plus que les insectes qui puissent donner des indications sur les causes et le moment du décès.

Cette expérimentation aura donc pour but de mettre en évidence un lien entre la présence de drogue dans des carcasses en décomposition et la colonisation par les insectes d'intérêt forensique. Pour ce faire, deux carcasses de porc domestique (*Sus scrofa domesticus L.*), préalablement drogués (un à l'aide de pentobarbital et l'autre de cocaïne), sont utilisées. Un cochon témoin permet d'établir des comparaisons entre la colonisation par les insectes se nourrissant sur des substrats contaminés et sur des substrats sains.

2. La thanatomorphose

2.1 La décomposition du corps

On peut définir la thanatomorphose comme l'ensemble des modifications morphologiques *post-mortem* subies par un corps (Campobasso *et al.*, 2001). Grâce à l'étude de ces modifications, il est possible de déterminer le moment de la mort avec plus ou moins d'exactitude. La première chose qui se produit lorsqu'une personne décède, c'est le refroidissement corporel qui va s'équilibrer avec la température du milieu ambiant. Ce phénomène est appelé *Algor mortis* (Swift, 2006). La datation de la mort, par les médecins légistes, grâce à cette méthode n'est pas sans encombre. En effet, elle n'est effective que jusqu'à ce que l'équilibre avec le milieu environnant soit atteint. De plus, beaucoup d'autres facteurs sont à prendre en considération comme la présence de vêtements, le poids du cadavre, l'activité physique avant le décès¹ ... (Boxho, 2009)

Il existe plusieurs « stades de décomposition » et ceux-ci diffèrent légèrement selon les auteurs (Campobasso *et al.*, 2001). Ces phases de dégradation du corps doivent être interprétées comme étant une séquence de phénomènes qui se superposent et se combinent et non comme étant des stades clairement identifiables les uns des autres. En effet, il n'y a pas de distinction précise entre la fin d'un stade et le début du suivant (Campobasso *et al.*, 2001). De plus, la vitesse de décomposition de la tête est souvent différente de celle du reste du corps (Matuszewski *et al.*, 2008).

On distingue cinq stades de décomposition différents : le stade initial (*Fresh*), de gonflement (*Bloating*), de décomposition active (*Active decay*), de décomposition avancée (*Advanced decay*) et de squelettonisation (*Skeletonization*). Il est à noter que le stade de gonflement peut être intégré au début du stade de décomposition active car il arrive qu'il ne s'en démarque pas (Dix, 2001). Une remarque importante concerne l'utilité de ces stades de décomposition qui sont plutôt réservés aux entomologistes forensiques car ils se basent souvent sur l'activité entomologique pour être décrits. Chaque stade de décomposition est attractif envers différentes espèces d'insectes et ceci résulte de conditions changeantes, à la fois chimiques et physiques, du corps en décomposition (Horenstein *et al.*, 2010). En effet, plus la décomposition du corps progresse et plus le corps devient défavorable aux premiers colonisateurs (*Calliphoridae*² ...) et favorable aux autres espèces (*Staphylinidae*...) (CMNH, 2009)

¹ Voir Annexe 1 pour plus de détails sur la datation de la mort grâce à cette méthode et la liste exhaustive des facteurs à prendre en considération dans le calcul.

² Voir annexe 2 pour les noms complets des familles et des espèces utilisées dans ce mémoire.

2.1.1 Le stade initial ou « Fresh »

Ce stade est caractérisé par l'arrêt du coeur et la diminution de l'oxygène présent dans le corps (Carter *et al.*, 2006). Ce manque d'oxygène inhibe les réactions aérobies et entraîne l'augmentation du pH intracellulaire qui provoque l'autolyse des cellules. Ce phénomène n'est autre que la libération des enzymes présentes dans les lysosomes³ qui digèrent les cellules (Thiry, 2005)

Le stade initial⁴ prend place dès la mort de l'individu jusqu'à un maximum d'une semaine après le décès (Galloway, 1997). Peu de temps après la mort, on notera l'existence de certains changements de nature physique, chimique et biologique et dans l'apparence du corps en plus du refroidissement général du corps. Un des premiers changements n'est autre que l'apparition de *livor mortis*, aussi appelé lividités cadavériques ou zones d'hypostases (Boxho, 2009). C'est un processus physique qui se produit lors de l'arrêt de la circulation sanguine. Le sang stagne dans les portions les plus basses du corps et il en résulte un changement de coloration de ces zones tirant vers le pourpre (Goff, 2009). On n'utilise guère les zones d'hypostase pour déterminer le moment du décès car il a été prouvé qu'il n'existait aucune relation linéaire entre la fixation de l'hypostase et le délai *post-mortem*. Par contre, on peut les utiliser pour savoir si un corps a été déplacé car ces dernières se fixent après une dizaine d'heures (Boxho, 2009). En effet, la zone du corps en contact avec le sol restera blanche. La compression des vaisseaux sanguins dans cette zone empêche le sang d'y stagner (Dix, 2001).

Approximativement 3 à 4 heures après le décès, il y a apparition des rigidités cadavériques ou *rigor mortis*⁵ et le corps se rigidifie progressivement en 12 heures (Dix, 2001). Celles-ci subsistent jusqu'à ce que les protéines commencent à être désagrégées et disparaissent après plus ou moins 36 heures de délai *post-mortem* (Swift, 2006).

Durant ce stade, des Diptères adultes de la famille des Calliphoridae⁶, Sarcophagidae, Muscidae et Sphaeroceridae sont le plus souvent rencontrés (Matuszewski *et al.*, 2008 ; CMNH, 2009).

³ organites intracellulaires contenant des enzymes digestives (Thiry, 2005)

⁴ Voir photo en annexe 3.

⁵ Voir annexe 4 pour la note sur le phénomène biochimique à la base de l'apparition des rigidités cadavériques.

⁶ Voir annexe 5 et 14 pour la description des familles ayant un intérêt en entomologie forensique.

2.1.2 Le stade de gonflement ou « Bloating »

Ce stade⁷ débute lorsque les gaz de putréfaction commencent à s'accumuler dans le corps et il en résulte un aspect gonflé de ce dernier (Anderson, 1996). En effet, la diminution en oxygène amorcée à la mort de l'individu s'est intensifiée et le corps est devenu un environnement idéal pour les micro-organismes anaérobies (Carter *et al.*, 2006). Ces derniers transforment les sucres, lipides et protéines en acides organiques (ex : acide lactique...) et en gaz (ex : méthane, ammoniaque...) ce qui provoque un gonflement du corps. Durant ce stade, la pression interne va augmenter sous l'action des gaz produits par les bactéries et entraîner la sortie des fluides présents dans le cadavre (« *purging* ») (Carter *et al.*, 2006). On note également le début de changement de coloration du corps et l'apparition du « *marbling*⁸ » (Anderson, 1996).

A partir de la fin de cette phase, le phénomène d'autolyse est déjà bien avancé (Gunn, 2006). Cependant, la décomposition d'un corps est le fruit des actions combinées de l'autolyse et de la putréfaction. Cette dernière consiste en la dissolution des tissus cadavériques en gaz, liquides et sels sous l'action bactérienne. C'est à partir de ce moment que l'activité des bactéries et des invertébrés va devenir la plus intense (Gunn, 2006).

Durant ce stade, des Diptères de la famille des Calliphoridae, Sarcophagidae, Muscidae, Phoridae, Piophilidae et Sphaeroceridae sont le plus souvent rencontrés en grand nombre, mais on peut également rencontrer des Coléoptères de la famille des Staphylinidae (CMNH, 2009). On peut noter également l'apparition des larves de Diptères (Matuszewski *et al.*, 2008).

2.1.3 La décomposition active ou « Active decay »

Le passage du stade de cadavre « gonflé » au stade de décomposition active⁹ peut être désigné par la rupture de la peau suite à l'action du gonflement du corps, mais aussi suite à l'activité des larves d'insectes, principalement des Calliphoridae (Anderson, 1996 ; Galloway, 1997). Il est à noter qu'au début de ce stage, la peau et la chair sont toujours présentes (Anderson, 1996). L'action combinée de la putréfaction du cadavre et de l'entomofaune conduit à une rapide diminution de la masse de ce dernier (Carter *et al.*, 2006).

⁷ Voir photo en annexe 6.

⁸ L'apparition du dessin de vaisseaux périphériques du corps, dilatés sous l'action de la pression des gaz de putréfaction (Shkrum *et al.*, 2007). Voir photo en annexe 7.

⁹ Voir photo en annexe 8.

Ce stade de décomposition est également caractérisé par la formation d'îlots de décomposition de matières cadavériques au niveau du sol ou CDIs (*Cadaver Decomposition Islands*) riches en composés carbonés et azotés (Carter *et al.*, 2006). Plusieurs petits îlots de décomposition, provenant de la liquéfaction du corps, vont s'interconnecter pour former un seul îlot ou CDI. Ceci se fait grâce à la rupture de la peau et donc la présence de plus de zones d'écoulement. Les CDIs sont associés à une augmentation de la biomasse et de l'activité microbienne mais aussi dans l'abondance des nématodes. Chaque CDI en formation correspond à une modification naturelle de l'environnement entraînant l'apparition de substances nutritives pour les bactéries, les nématodes, certains annélides et arthropodes (Carter *et al.*, 2006).

La première phase de la putréfaction se marque par une coloration verdâtre de la partie basse de l'abdomen (sous nos latitudes, plus précisément au niveau de la fosse iliaque droite, ceci au bout de 2 ou 3 jours en plein air). Cette couleur est due à la décomposition de l'hémoglobine en sulfohémoglobine et autres pigments colorés (Pinheiro, 2006 ; Boxho, 2009). Après une dizaine de jours, on note un phénomène de « *marbling* » très développé (Shkrum *et al.*, 2007).

Alors que la phase de coloration du corps, qui atteindra tout le corps après plusieurs semaines, n'est pas terminée (on passe du bleu-vert au noir), on atteint la phase de dilatation (Gunn, 2006 et Shkrum *et al.*, 2007). Le gonflement des tissus mous s'intensifie et c'est à ce moment que l'on note la protrusion de la langue, des yeux mais aussi de l'intestin par l'anus ou de l'utérus par le vagin. A ce stade, une forte odeur de décomposition est présente car des gaz, comme le sulfure d'hydrogène, sont émis comme produits finaux du métabolisme bactérien (Gunn, 2006 ; Shkrum *et al.*, 2007 ; Matuszewski *et al.*, 2008). Des « cloches » entre l'épiderme et le derme (appelées phlyctènes) se forment mais il s'opère également un décollement de l'épiderme et des phanères¹⁰ (Shkrum *et al.*, 2007 et Boxho, 2009).

Durant ce stade, des Diptères de la famille des Calliphoridae, Sarcophagidae, Muscidae et Piophilidae sont le plus souvent rencontrés, mais aussi des Coléoptères de la famille des Staphylinidae, Histeridae et Silphidae (CMNH, 2009). C'est à ce moment que la masse des larves de Diptères est la plus importante ; on parle généralement de « *maggot mass*¹¹ » (Matuszewski *et al.*, 2008).

¹⁰ Terme désignant les productions cellulaires destinées à protéger la peau ; poils, cheveux, ongles (Dictionnaire réverso, 2010)

¹¹ Voir photo en annexe 9.

2.1.4 La décomposition avancée ou « Advanced decay »

Le passage de la décomposition active à la décomposition avancée¹² se fait lorsque les larves d'insectes migrent hors du corps pour subir leur pupaison (Carter *et al.*, 2006 ; Matuszewski *et al.*, 2008). Il est à noter qu'à ce stade, une grande partie des chairs ont disparu (Anderson, 1996). Le CDI qui s'est formé au stade précédent s'étend en fonction de la taille du cadavre, de la masse larvaire présente et de la nature du sol (Carter *et al.*, 2006). Le CDI durant ce stade représente une zone de concentration élevée en carbone et nutriments mais aussi une zone de pH faible. Ce stade correspond donc à une forte activité microbienne au niveau du sol (Vass *et al.*, 1992).

Finalement, l'ensemble des tissus mous incluant la peau va se décomposer. On se situe dans une période oscillant entre 12 et 18 mois (Shkrum *et al.*, 2007 et Boxho, 2009). C'est à partir de ce moment que l'on note une diminution de l'activité microbienne et des invertébrés (Gunn, 2006).

Durant ce stade, des Diptères de la famille des Piophilidae sont le plus souvent rencontrés mais aussi des Coléoptères de la famille des Staphylinidae et des Cleridae (CMNH, 2009).

2.1.5 Le squelettonisation ou « Skeletonization »

A ce stade¹³, la décomposition des tissus mous est terminée. Désormais, il ne reste plus que les os (Gunn, 2006). Il peut également rester des tissus aux points d'attachement des ligaments et des muscles comme le long de la colonne vertébrale ou au niveau de l'articulation des os longs (Galloway, 1997). Ces derniers vont se dégrader petit à petit pour ne laisser que les os (Gunn, 2006). La fin de ce stade est atteint lorsque les os sont débarrassés de toute matière organique. Cependant, le processus de décomposition se poursuit par la dégradation des matières osseuses. On note une décoloration de l'os suivie par une désagrégation de ce dernier (Galloway, 1997). Ce phénomène est appelé la diagenèse.

Durant ce stade, des Coléoptères de la famille des Nitidulidae et Dermestidae sont le plus souvent rencontrés (CMNH, 2009).

¹² Voir photo en annexe 10.

¹³ Voir photo en annexe 11.

2.2 Les facteurs influençant la décomposition

La vitesse à laquelle un corps se décompose est extrêmement variable et dépend de plusieurs facteurs :

1. Les facteurs intrinsèques au cadavre tels que l'âge, la constitution du corps, la cause de la mort et l'intégrité du corps (Exemple : la présence d'entailles dans la peau peut permettre une meilleure pénétration des insectes).
2. Les facteurs extrinsèques au cadavre comme la température ambiante, les courants aériens, l'humidité du corps, la présence de vêtements, *etc.* (Pinheiro, 2006 et Campobasso *et al.*, 2001)

Les successions d'insectes peuvent donc varier et c'est pour cela qu'il faut étudier les successions entomologiques dans différentes régions biogéographiques et dans différents habitats écologiques (Amendt *et al.*, 2000, Campobasso *et al.*, 2001).

De plus, suivant les caractéristiques de l'environnement, un cadavre ne subit pas toujours la putréfaction mais peut subir une momification en milieu sec ou une adipocire en milieu relativement humide (Boxho, 2009).

3. La colonisation du corps par les insectes

3.1 Historique

C'est en Chine, au 13^e Siècle, que les insectes ont été utilisés, pour la première fois, dans un contexte judiciaire (Benecke, 2001 ; Amendt *et al.*, 2004). Le coupable avoua sa faute lorsque, durant l'interrogatoire des suspects, des diptères de la famille des Calliphoridae ont été attirés par des traces invisibles de sang sur sa faucille (Benecke, 2001). La première utilisation de l'entomologie forensique dans une salle d'audience française s'est produite en 1850. Le corps d'un enfant avait été retrouvé derrière une cheminée lors de transformations dans une maison. La présence d'insectes et le stade de décomposition avancé permirent d'innocenter les nouveaux propriétaires. La discipline s'est ensuite développée à l'aide de Mégnin et son étude sur la faune des cadavres (La faune des cadavres : Application de l'entomologie à la médecine légale, 1894 [Mégnin, 1894]) mais ce n'est qu'en 1948 que Marcel Leclercq, médecin belge, a utilisé l'entomologie criminelle pour dater la mort dans des enquêtes criminelles (Amendt *et al.*, 2004).

L'entomologie forensique s'est aussi développée aux USA (Haskell *et al.*, 1997). Cependant, il a fallu attendre jusqu'en 1916 (Monographie d'Aldrich sur les Sarcophagidae [Aldrich, 1916] et jusqu'en 1936 (Clés de détermination des larves de Calliphoridae par Knipling [Knipling, 1936])

pour obtenir des ouvrages permettant la détermination de certaines familles d'insectes (Haskell *et al.*, 1997). La détermination de la faune des Calliphoridae présente aux alentours d'un cadavre n'a pu être possible qu'à partir de 1948, avec la parution du livre : *The Blowflies of North America* par Hall [Hall, 1948] (Haskell *et al.*, 1997). Les connaissances sur la biologie, la distribution et sur les différentes espèces de Calliphoridae et Sarcophagidae ne sont cependant pas très avancées et ce n'est qu'à partir de 1983 que les entomologistes connaîtront, de manière plus précise, ces deux familles de Diptères (Wyss et Cherix, 2006). Parallèlement, des études par région biogéoclimatique ont dû être faites afin de connaître la distribution des Calliphoridae mais des études biologiques (détermination des larves et de leur cycle de développement) ont également dû être faites (Haskell *et al.*, 1997).

Parallèlement, en Europe, des études sur la biologie des insectes d'intérêt forensique sont réalisées mais, uniquement, beaucoup d'études de cas en médecine légale sont publiés. Les premiers protocoles de prélèvements d'insectes sur les scènes de crime datent d'un article de 1985 (entomologie et médecine légale. Datation de la mort) dans le « Journal de Médecine Légale et de Droit Médical » par Leclercq et Brahy [Leclercq et Brahy, 1985]. Le premier véritable guide de terrain date de 1990 : « *Entomology and Death : A Procedural Guide* » par Catts and Haskell [Catts and Haskell, 1990] (Haskell *et al.*, 1997). En 2003, l'*European Association for Forensic Entomology* (EAFE) a été créée en Europe. Cette association se réunit chaque année pour une conférence rassemblant une centaine de personnes comme des policiers, des médecins légistes, des pathologistes, des biologistes et des entomologistes (Wyss et Cherix, 2006).

A partir des années 2000 jusqu'à nos jours, la discipline a connu un véritable engouement et il en résulte la parution de plusieurs livres dédiés à l'entomologie forensique tels que : *Entomology and the Law* par Greenberg et Kunich en 2002 [Greenberg et Kunich, 2002] ; *Traité d'entomologie forensique : les insectes sur la scène de crime* par Wyss et Cherix en 2006 [Wyss et Cherix, 2006]; *Forensic entomology: an introduction* par Gennard en 2007 [Gennard, 2007]; *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations* par Byrd et Castner en 2009 [Byrd et Castner, 2009] et récemment, *Current Concepts in Forensic Entomology* par Amendt, Campobasso, Goff et Grassberg en 2010 [Amendt *et al.*, 2010].

3.2 Les arthropodes associés aux cadavres

Un cadavre en décomposition représente une source temporaire et changeante de nourriture pour une communauté distincte et variée d'organismes (Putman 1983 ; Kocarek, 2003). Des centaines d'espèces d'arthropodes vont être attirées par un corps en décomposition, principalement des Diptères, des Coléoptères et leurs larves (Leclercq, 1996 ; Amendt *et al.*, 2004 ; Wyss et Cherix, 2006 ; Benecke, 2007). Les arthropodes vont se nourrir ou se reproduire dans et sur le corps, suivant la biologie de l'espèce, leur spécialisation alimentaire et le stade de décomposition du corps (Kocarek, 2003 ; Benecke, 2007).

En fonction de leur régime trophique, les arthropodes que l'on retrouve sur un cadavre ont été classés en cinq groupes écologiques différents (Amendt *et al.*, 2004 ; Arnaldos *et al.*, 2005 ; Wyss et Cherix, 2006).

Il est à noter qu'il n'y a pas que des arthropodes et des micro-organismes qui ont un rôle dans la décomposition des cadavres. En effet, la présence d'autres prédateurs ou charognards comme les renards, les chats ou les rats, *etc.* joue un rôle dans la décomposition biologique du corps (Campobasso *et al.*, 2001).

3.2.1 Les groupes écologiques

1. Les espèces nécrophages : Elles arrivent les premières sur le cadavre et s'en nourrissent en se succédant suivant les stades biochimiques de sa dégradation (Amendt *et al.*, 2004 ; Arnaldos *et al.*, 2005 ; Wyss et Cherix, 2006). Les plus importants sont les Diptères Calliphoridae, Muscidae, Sarcophagidae, Fanniidae, Piophilidae et Phoridae mais aussi des Coléoptères Dermestidae, Silphidae, Cleridae et Nitidulidae (Leclercq, 1996 ; Wyss et Cherix, 2006)
2. Les espèces nécrophiles : Ce sont les prédateurs et parasites des espèces nécrophages (Leclercq, 1996 ; Wyss et Cherix, 2006). Elles se nourrissent donc des autres insectes ou arthropodes présents sur le cadavre, principalement des œufs et des larves. On rencontre principalement des Coléoptères (Silphidae, Histeridae, Staphylinidae, Dermestidae, Cleridae et Nitidulidae ainsi que les larves de ces Coléoptères qui se nourrissent des larves de Diptères) mais aussi des Diptères (Calliphoridae et Stratomyidae) et des Acariens (Leclercq, 1996 et Amendt *et al.*, 2004 ; Wyss et Cherix, 2006). On note également la présence d'Hyménoptères parasitoïdes de larves et de pupes de Diptères nécrophages (Wyss et Cherix, 2006). Ce groupe contient également des espèces dites « *schizophagous* » dont les larves se nourrissent du cadavre en premier mais dont les stades larvaires les plus avancés sont prédateurs comme par exemple : les larves de Calliphoridae et plus précisément les *Chrysomya spp.* (Amendt *et al.*, 2004 ; Wyss et Cherix, 2006).

3. Les espèces omnivores : Elles se nourrissent aussi bien du cadavre que de ses habitants (nécrophages et nécrophiles). Des Hyménoptères comme les guêpes et fourmis ainsi que certains Coléoptères font partie de ce groupe (Leclercq, 1996 ; Amendt *et al.*, 2004 ; Arnaldos *et al.* 2005 ; Wyss et Cherix, 2006).
4. Les espèces opportunistes : Elles utilisent le corps comme une extension de leur environnement (Comme refuge ou source de chaleur par exemple). On rencontre des collemboles, des papillons et des araignées (Leclercq, 1996 ; Amendt *et al.*, 2004 et Arnaldos *et al.*, 2005 ; Wyss et Cherix, 2006).
5. Les espèces accidentelles : Leur présence, au niveau du cadavre, est simplement due au hasard (Arnaldos *et al.*, 2005).

Dans le cadre de l'entomologie criminelle, les deux premiers groupes sont les plus importants. Ce sont essentiellement des Diptères et des Coléoptères (Leclercq, 1996 ; Amendt *et al.*, 2004). Les espèces nécrophages vont apparaître selon une séquence plus ou moins prévisible ; elles sont les plus importantes pour établir le moment de la mort (Arnaldos *et al.*, 2005). Les espèces nécrophiles et omnivores vont apparaître plus ou moins en même temps et vont rester sur le corps jusqu'à la fin de l'activité entomologique (Arnaldos *et al.*, 2005).

3.2.2 Les Diptères

Les Diptères sont un ordre d'Insectes, comprenant quelques cent-cinquante mille espèces connues à ce jour (Wyss et Cherix, 2006). Le nom de Diptères (du Grec : *di-* ou « deux » et *pteron* ou « aile ») vient du fait qu'ils ne possèdent qu'une paire d'ailes membraneuses ; les ailes postérieures étant réduites en balanciers ou haltères (Chinery, 2005). Les Diptères sont également caractérisés par des pièces buccales spécialisées pour absorber des liquides : sève, nectar, sang, liquides organiques (Bourbonnais, 2010b). Les Diptères sont principalement divisés en deux sous-ordres : les Nématocères, les Brachycères (dont les Orthorrhaphes et les Cyclorrhaphes¹⁴). C'est principalement dans les Cyclorrhaphes qu'on retrouve les Diptères nécrophages ayant un intérêt en entomologie forensique. On compte six familles d'intérêt en entomologie forensique : les Calliphoridae, les Sarcophagidae, les Fanniidae, les Muscidae, les Piophilidae et les Phoridae¹⁵ (Byrd et Castner, 2001 ; Chinery, 2005 ; Wyss et Cherix, 2006).

¹⁴ Il existe deux groupes distincts de Cyclorrhaphes : les Aschizes (sans ptiline) et les Schizophores (possédant une ptiline). La ptiline est une structure semblable à un ballon et se trouvant sur le devant de la tête de certains diptères. En fin de métamorphose, cette dernière se gonfle grâce à de l'hémolymphe et permet l'ouverture du petit couvercle du puparium. (Chinery, 1976)

¹⁵ Voir description des familles de Diptères en annexe 5.

3.2.2.1 Le cycle biologique des Diptères¹⁶

Ce sont des insectes à métamorphose complète (holométaboles¹⁷). Les femelles pondent environ 150 à 200 œufs regroupés en agglomérat¹⁸ et qui donneront des larves de type vermiforme (Gennard, 2007 ; Bourbonnais, 2010b). Il existe des espèces, comme la mouche tsé-tsé, dont l'œuf éclôt à l'intérieur de la femelle, dite ovovivipare et dont la larve se développe grâce à des sécrétions spéciales produites par la mère (Wyss et Cherix, 2006). Il a été également montré que certaines Calliphoridae (comme *Calliphora vicina*) déposent des larves vivantes sur le substrat nourricier lorsque la fécondation a été faite loin d'un lieu de ponte (Gennard, 2007). Il est à noter que la présence de composés ammoniacaux et de sulfure d'hydrogène sont des stimuli importants pour la ponte aussi bien que l'humidité ou certaines phéromones (Amendt *et al.*, 2004). De plus, les Diptères ne pondent pas sur des tissus momifiés ou déshydratés car les œufs et les larves ont besoin d'humidité pour se développer mais aussi parce que les larves du premier stade larvaire n'ont pas de crochets buccaux assez puissants pour percer la peau. Ceci explique donc pourquoi les femelles pondent à proximité des orifices humides (Amendt *et al.*, 2004).

Chaque larve est de couleur blanchâtre, apode, sans capsule céphalique et dont la seule partie sclérotisée visible est constituée des deux crochets buccaux servant de mandibules (Wyss et Cherix, 2006). Les larves de Cyclorhaphes se nourrissent des matières nutritives au moyen de leurs crochets mobiles verticalement et elles n'absorbent que des substances liquéfiées ou au moins, partiellement transformées par une digestion extra-orale. Elles vont subir trois mues avant de se nymphoser (Larves L1 pour le premier stade, L2 pour le second et L3 pour le troisième). Les larves L1 (dépourvues de crochets buccaux) se nourrissent d'éléments protéiniques liquides présents à proximité des orifices humides (principalement au niveau de la face, si le cadavre porte des vêtements). Les larves muent en larves L2 de taille plus importante et capables de pénétrer la peau à l'aide d'enzyme protéolytiques et de leurs crochets buccaux. Cependant, ce ne sera qu'à partir du stade L3 qu'elles seront les plus voraces et coloniseront l'ensemble du corps (Wyss et Cherix, 2006). Après cette période de nourrissage intense, les larves L3 vont cesser de s'alimenter et migrer hors du corps (Gennard, 2007).

En effet, afin d'éviter toute prédation pendant la nymphose, la larve va migrer et s'éloigner du corps pour pouvoir entamer sa pupaison (Haupt, 2000 ; Kocarek, 2003). Les nymphes de Cyclorhaphes ne sont pas mobiles et sont emprisonnées dans la dernière enveloppe larvaire qui se

¹⁶ Voir cycle biologique des Calliphoridae à 21°C en annexe 12.

¹⁷ Se dit des insectes chez qui le passage de l'état larvaire à l'état adulte se fait par l'intermédiaire d'un état nymphal. Les larves et les adultes de ces insectes ont, en général, une morphologie et des modes de vie très différents (Bourbonnais, 2010b).

¹⁸ Voir photo en annexe 13.

durcit pour former un puparium en forme de tonnelet (Chinery, 1976). Ensuite, la pupe se transforme en un adulte ou imago (Wyss et Cherix, 2006 ; Bourbonnais, 2010b). La durée de développement de chaque stade est dépendante de la température (fonction linéaire et donc prévisible) et est différente pour chaque espèce (Wyss et Cherix, 2006). Si la température augmente, la vitesse de développement des larves aussi (Wyss et Cherix, 2006).

3.2.3 Les Coléoptères

Le nombre d'espèces connues de Coléoptères est estimé à plus de trois cent septante mille (Wyss et Cherix, 2006). Les Coléoptères (le mot provient du Grec et est composé de *Diptère-* ou « protection » et de *pteron* ou « aile ») sont caractérisés par la présence d'une paire d'ailes membraneuses protégées par une paire d'ailes durcies en élytres. Ces élytres protègent la totalité des ailes postérieures mais il est apparu une diminution de la longueur des élytres chez certaines famille (Ex : Staphylinidae). Les Coléoptères sont souvent classés en quatre grands groupes, sur base d'études moléculaires et morphologiques. Ce sont les Archostémates, les Mycophages, les Adéphages (qui sont des prédateurs et arborent le plus souvent beaucoup de couleur) et les Polyphages (Gennard 2007 ; Capinera 2008). Les principales familles de Coléoptères ayant un intérêt forensique sont les Dermestidae¹⁹, les Silphidae, les Staphylinidae, les Cleridae, les Histeridae, les Nitidulidae et les Geotrupidae (Wyss et Cherix, 2006).

3.2.3.1 Le cycle biologique des Coléoptères²⁰

Les Coléoptères sont des insectes holométaboles⁷. Les larves ont une capsule céphalique bien différenciée du reste du corps, des mandibules et, le plus souvent, des pattes thoraciques bien développées (Gennard, 2007 ; Capinera, 2008).

Le cycle de développement d'un Coléoptère est composé d'un stade oeuf, suivi de 3 à 5 stades larvaires, suivi d'un stade nymphal qui aboutit à un nouvel adulte ou imago (Gennard, 2007 ; Capinera, 2008). La plupart des Coléoptères pondent des œufs et seules quelques espèces sont ovovivipares, c'est-à-dire que les oeufs éclosent dans le tractus génital de la femelle, cette dernière déposant donc une larve (Wyss et Cherix, 2006). La longueur du cycle biologique dépend de la famille considérée (Gennard, 2007). Celle-ci peut aller de quelques semaines jusqu'à 1 ou 2 ans, voire même une dizaine d'années pour certains Cerambycidae (Capinera, 2008 ; Bourbonnais, 2010a). Certaines espèces (comme *Dermestes* sp.) peuvent même hiberner dans leur pupe si les conditions environnementales ne leur sont pas favorables (Gennard, 2007).

¹⁹ Voir description des familles de Coléoptères en annexe 14.

²⁰ Voir cycle biologique des Coléoptère en annexe 15.

3.3 Utilisation des insectes dans les enquêtes judiciaires

Les « indices » entomologiques retrouvés sur une scène de crime peuvent avoir plusieurs utilités. La principale étant de pouvoir déterminer la date, la saison et le lieu géographique de la mort mais aussi des déplacements éventuels du corps ou l'ingestion de drogues (Haskell *et al.*, 1997).

3.3.1 L'intervalle post-mortem ou l'IPM

On définit l'IPM comme étant l'intervalle de temps entre le moment de la mort et la découverte du cadavre (Wyss et Cherix, 2006). Il existe deux méthodes, ayant pour but de déterminer l'IPM, en se basant sur les insectes (Wyss et Cherix, 2006). L'IPM dit « court » qui se base sur les premiers insectes colonisant le corps et l'IPM à « moyen » et « long » terme qui se base sur les successions entomologiques.

La première méthode est basée sur le développement des larves de Diptères et concerne presque uniquement les larves de Calliphoridae (Wyss et Cherix, 2006). Toutefois, cette méthode peut aussi utiliser des représentants de la famille des Muscidae ou des Sarcophagidae, voire de Piophilidae. Cette méthode de datation entomologique met en relation le développement des insectes (principalement des larves de mouches) trouvés sur le corps avec la température ayant régné sur le lieu du décès (Niederegger *et al.*, 2010). On obtient alors ce qu'on appelle un IPM minimum qui ne pourra être déterminé que pour la première génération de mouches arrivées sur le cadavre (Wyss et Cherix, 2006). En effet, on utilise, comme postulat de départ, le fait que les premières mouches peuvent arriver sur un cadavre dans les minutes ou les heures qui suivent la mort, sous des conditions écologiques favorables (Bourel *et al.*, 2003). Il est donc possible de déterminer un IPM pour la première génération de mouches ; cependant, il est impossible de connaître le moment de ponte de la deuxième génération.

La seconde méthode de datation entomologique se base sur la succession des espèces au cours du temps sur un cadavre (Wyss et Cherix, 2006). Les estimations se basent sur une reconstitution des successions entomologiques qui ont pu avoir lieu sur le cadavre et il est facilement démontrable que ces successions ne sont pas toujours respectées (Wyss et Cherix, 2006).

3.3.1.1 Calcul du cycle de développement des premiers insectes colonisant le cadavre

Un des facteurs les plus importants influençant la durée de développement des larves de Diptères est la température (Wyss et Cherix, 2006). Chaque espèce possède une vitesse de développement qui lui est propre ; il existe des tables publiées sur les durées de développement des espèces forensiques de Diptères (Marchenko, 1988 ; Marchenko, 2001). L'accumulation des degrés jours (ADJ) ou degré heures (ADH) est la méthode recommandée pour déterminer le temps de développement des insectes (Niederegger *et al.*, 2010). Le postulat de base est que le temps de développement diminue lorsque la température augmente (et inversement) de manière linéaire mais que la chaleur accumulée pour le développement complet de l'insecte reste inchangée (Niederegger, *et al.* 2010). L'ADJ se calcule comme suit : $ADJ = (T - T_L) \times \text{nombre de jours de développement}$. « T » correspond à la température moyenne (sur 24 heures) et « T_L » correspond à la température minimal de développement ou la température en dessous de laquelle le matériel biologique ne se développe pas (Wyss et Cherix, 2006 ; Niederegger *et al.*, 2010).

Le principe consiste donc à déterminer le jour de ponte des Diptères en se basant sur la durée de développement²¹ du matériel entomologique récolté sur le cadavre (oeufs, larves et pupes) et placé en élevage contrôlé (Wyss et Cherix, 2006). Connaissant la température de développement minimum de l'espèce considérée et la somme des températures du cycle complet de cette même espèce ainsi que les températures effectives subies par les larves et les pupes durant leur élevage en conditions contrôlées, il est possible de déterminer le jour de la ponte (Wyss et Cherix, 2006). Cependant, il faut prendre en compte deux paramètres importants : le premier est que la plupart des espèces de Calliphoridae ne montre pas d'activité sous les 12°C (certaines espèces comme *Calliphora vomitoria* ou *Calliphora vicina* sont actives à des températures nettement inférieures) et le second : les *Calliphoridae* ne sont pas actives de nuit mais leurs larves le sont 24 heures sur 24 (Wyss et Cherix, 2006).

Diverses critiques existent sur cette méthode de calcul. En effet, elle ne prend pas en considération le temps de dispersion des larves L3 avant leur mue ni l'impact d'épisodes de basses températures pouvant exister en milieu naturel (Niederegger *et al.*, 2010). De plus, la méthode de l'ADD ne prend pas en compte les fluctuations journalières des températures. Par exemple, il a été démontré que le développement de Calliphoridae australiennes, sur 24 heures, est plus rapide sous une température constante de 30°C que sous une température fluctuante ayant une valeur moyenne de 30°C (Niederegger *et al.*, 2010). Désormais, les fluctuations de température sont intégrées dans les calculs à l'aide de nouveaux modèles non-linéaires (Bourel *et al.*, 2003).

²¹ Voir Tableau 6 (en annexe 16) correspondant à un extrait des tables de développement de certaines espèces de Diptères calculées par Marchenko (Marchenko, 1988).

4. L'entomotoxicologie

L'entomotoxicologie est l'étude de la bioaccumulation des xénobiotiques²² chez les insectes ou d'autres arthropodes en vue de déterminer la présence éventuelle de ces mêmes xénobiotiques au niveau du cadavre (Introna *et al.*, 2001 ; Gagliano-Candela et Aventaggiato, 2001). En effet, l'extraction de xénobiotiques provenant des insectes s'avère nécessaire lorsque le corps est trop décomposé (absence de tissus, de sang ou d'urine) pour procéder à des analyses toxicologiques sur des échantillons de tissus « classiques » (Benecke, 2007 ; Amendt *et al.*, 2010).

Le matériel biologique d'intérêt en entomotoxicologie se compose essentiellement de larves, de pupes, d'insectes adultes (aussi bien les Diptères que les Coléoptères), de pupes vides, d'exuvies et même parfois de matière fécale de Coléoptères (Gagliano-Candela et Aventaggiato, 2001). En effet, les larves de Diptères, qui se nourrissent sur un corps intoxiqué, ne métabolisent qu'en partie les drogues ou toxines prises par la personne lorsque celle-ci était vivante (Amendt *et al.*, 2010). Le transfert de ces substances se fera également aux Coléoptères qui se nourrissent de ces larves ou directement du cadavre. C'est ce qu'on appelle un phénomène de seconde bioaccumulation (Introna *et al.*, 2001).

L'étude entomotoxicologique permet donc d'identifier et de quantifier la présence de xénobiotiques chez les arthropodes se nourrissant sur les cadavres (Tracqui *et al.*, 2004 ; Amendt *et al.*, 2010). Il est donc ainsi possible d'avoir une idée des causes du décès (Tracqui *et al.*, 2004).

L'entomotoxicologie permet également une meilleure estimation des IPMs (Tracqui *et al.*, 2004). La durée de développement des insectes peut être affectée par différents facteurs comme la température, la localisation du corps ou la densité de larves présentes (George *et al.*, 2009). Il apparaît clairement que le développement des insectes pourrait donc être influencé par la présence de drogues (Tracqui *et al.*, 2004 ; George *et al.*, 2009). La conséquence de ce phénomène serait une sous- ou sur-estimation de l'IPM (George *et al.*, 2009). Cependant, il a également été démontré que les drogues peuvent modifier la durée de développement des larves sans pour autant être retrouvées dans les analyses de larves (O'Brien et Turner, 2004). Elles passeraient donc inaperçues et les IPMs seraient, de ce fait, mal estimés (O'Brien et Turner, 2004).

²² Toute substance étrangère à un organisme vivant donné

4.1 Historique

Les premières détections de xénobiotiques chez les insectes datent des années 1970 ; elles ont débuté par des analyses de métaux lourds chez des Diptères (Introna F. *et al.*, 2001). En 1982, ces analyses ont permis d'élucider les circonstances de la mort d'une femme en Finlande, retrouvée à un stade de décomposition avancé et couverte de larves de Diptères [Nuorteva et Nuorteva, 1982] (Amendt *et al.*, 2010). En ce qui concerne l'analyse des drogues, des observations fortuites avaient déjà été faites en 1958 sur la différence de colonisation des Diptères sur des carcasses de rats empoisonnés avec différents produits (Introna F. *et al.*, 2001).

En 1985, Marcel Leclercq fut le premier à démontrer la présence d'arsenic chez des Diptères lors d'un empoisonnement [Leclercq et Brahy, 1985] (Introna F. *et al.*, 2001). D'autres recherches ont été menées et en 1989, Gunatilake et Goff ont détecté des traces de Malathion dans des larves prélevées sur un cadavre [Gunatilake et Goff, 1989] (Amendt *et al.*, 2010).

Depuis, différentes drogues et diverses techniques ont été testées sur les larves de Diptères dans le but de les utiliser comme des échantillons toxicologiques en vue de détecter des substances comme les benzodiazépines [Kintz, 1990 ; Sadler *et al.*, 1995], la morphine [Hedouin *et al.*, 2001 ; Georges *et al.*, 2009], le paracétamol [O'Brien et Turner, 2004] ou encore la codéine [Kharbouche *et al.*, 2008] ...

4.2 Impact des xénobiotiques sur le développement des insectes associés aux cadavres

Les tissus généralement étudiés comme substrats nourriciers pour les larves de Diptères, lors d'expériences en entomotoxicologie, sont le cerveau, le foie, le coeur et les reins. Cependant, le substrat nourricier le plus important pour les larves sont les muscles squelettiques, or il existe très peu de travaux réalisés à ce niveau [Nolte *et al.*, 1992] (Pounder D.J., 1991). Il faut malgré tout prendre en considération le fait que les muscles squelettiques n'accumulent pas de manière homogène les drogues lors de décès survenus par overdose (Amendt *et al.*, 2010). Les larves se nourrissant sur diverses parties du muscle squelettique pourraient donc avoir des concentrations en xénobiotique différentes dans leur organisme.

Actuellement, l'analyse toxicologique des larves permet d'avoir une information qualitative par rapport à la drogue utilisée mais il n'est pas toujours possible d'extrapoler la concentration de drogue dans le sang humain en utilisant la concentration de drogue trouvée dans les larves (Amendt *et al.*, 2010).

Cependant, certaines études suggèrent l'existence d'une corrélation entre les concentrations présentes dans les larves et dans leurs substrats nourriciers, particulièrement dans le cas d'opiacés (comme l'héroïne) et de cocaïne (Campobasso, 2004). Il est à noter que les concentrations retrouvées dans les larves sont significativement inférieures à celles trouvées sur les tissus cadavériques nourriciers (Amendt *et al.*, 2010). L'explication de ce phénomène vient du fait que les insectes métabolisent et éliminent les substances toxiques ingérées durant leur développement (Campobasso, 2004).

L'entomotoxicologie étant une branche de l'entomologie forensique plutôt jeune et en plein essor (Amendt *et al.*, 2010), il existe encore peu d'études sur les xénobiotiques choisis dans le cadre de ce mémoire. A l'heure actuelle, la plupart des résultats obtenus proviennent d'expériences réalisées en laboratoire ou d'études de cas sur des décès suspects (permettant la détermination qualitative du xénobiotique) et non d'études, *in situ*, de colonisation *post-mortem* de matériel biologique extrapolable à l'homme.

4.2.1 Le pentobarbital

Le pentobarbital a été choisi dans ces expérimentations afin de vérifier si l'euthanasie de porc par cette méthode chimique ne modifie pas la colonisation du cadavre par les insectes. En effet, dans certaines études, les porcs ont été euthanasiés à l'aide de pentobarbital mais ces derniers sont utilisés comme des porcs témoins pour la colonisation *post-mortem* [Wyman *et al.*, 2010 ; Özdemir et Osman, 2009 ; Sabanoglu, 2010]. Etant donné que la présence de xénobiotique dans un organisme peut modifier sa colonisation *post-mortem* par les insectes (Tracqui *et al.*, 2004 ; George *et al.*, 2009), il était intéressant de connaître l'effet du pentobarbital sur cette colonisation. En effet, il n'existe qu'une seule étude qui traite de l'effet du pentobarbital sur la colonisation *post-mortem* par les insectes de carcasses de rats euthanasiés par du pentobarbital et par du dioxyde de carbone [Patrican et Vaidyanathan, 1995]. Il ressort de cette étude que les rats euthanasiés par les deux méthodes attirent les mêmes familles d'insectes mais que la décomposition du rat euthanasié avec du dioxyde de carbone a été plus rapide (Patrican et Vaidyanathan, 1995).

Il n'existe pas, à l'heure actuelle, d'études traitant de l'influence de pentobarbital dans le développement des larves de Diptères.

4.2.2 La cocaïne

Depuis quelques années, l'augmentation des décès liés à la prise de drogues (cocaïne et héroïne principalement) justifie le grand intérêt porté à l'entomotoxicologie (Introna *et al.*, 2001). Fréquemment, le corps de la victime reste introuvable durant une longue période de temps et est donc retrouvé à un stade avancé de décomposition (Amendt *et al.*, 2010).

Le temps de demi-vie de la cocaïne dans un corps est relativement court et varie de 40 minutes à 1h15 en fonction du mode d'administration alors que celui de son principal métabolite, la benzoylecgonine est de 7 à 8 heures (Nolte *et al.*, 1992 ; Scuvée-Moreau, 2010). La présence de cocaïne dans les larves indiquerait donc la consommation de cocaïne quelques heures avant la mort (Nolte *et al.*, 1992).

Il a été prouvé que la durée de développement des larves de Diptères, en présence de cocaïne, de benzoylecgonine ou des deux, est accélérée de 12 à 18 heures (Goff *et al.*, 1989). Cette accélération du développement se fait à partir de 36 heures et se termine après 78 heures de développement (Goff *et al.*, 1989). La présence de cocaïne et/ou de son métabolite accélère le temps de pupaison de 12 à 18 heures (Goff *et al.*, 1989). Il est à noter que la taille maximale des larves reste inchangée malgré l'ingestion de drogues (Goff *et al.*, 1991). Il est également à noter que l'accumulation de la cocaïne se produit dans la cuticule des larves durant leur développement (Amendt *et al.*, 2010).

Il n'apparaît pas, dans les études précitées, de commentaires sur la colonisation *post-mortem* car les études réalisées ont été faites en laboratoire ; les chercheurs utilisent donc une seule espèce de Diptères qu'ils placent dans un environnement clos avec leur substrat nourricier contaminé.

5. Matériels et méthodes

5.1 Site d'expérimentation

Les trois carcasses de porcs ont été déposées dans un site forestier à l'intérieur d'un domaine militaire aux alentours de Meerdaal²³. Chacune d'elles est placée à une cinquantaine de mètres des autres. Le site forestier est une hêtraie mélangée : présence d'hêtres (*Fagus sylvatica*), de chênes pédonculés (*Quercus robur*) et de chênes rouges d'Amérique (*Quercus rubra*). La strate herbacée est assez pauvre et ne couvre pas la totalité du sol. On note la présence de muguet (*Convallaria majalis*), de fougères aigles (*Pteridium aquilinum*), de ronces communes (*Rubus fruticosus*) et de maianthèmes (*Maianthemum bifolium*).

Chacune des carcasses de porc est protégée d'éventuels prédateurs à l'aide d'une cage métallique grillagée²⁴. Les cages sont constituées de panneaux ayant une maille carrée de 4 cm que l'on assemble par des liens de type « colson » (Dekeirsschieter, 2007). Les cages ont une dimension de 180 cm de longueur sur 90 cm de largeur et 90 cm de hauteur. Des repères visuels, matérialisés par des piquets en plastique, ont été disposés autour de la carcasse afin de suivre les modifications de volume du corps (Dekeirsschieter, 2007).

5.2 Matériel biologique

Pour cette expérience, trois porcs domestiques (*Sus domesticus L.*) de race Piétrain et d'un poids approximatif de 25 kg ont été utilisés. Le porc est un modèle de la décomposition humaine, couramment utilisé dans les expériences entomoforensiques pour des raisons physiologiques, éthiques et économiques (Hart *et al.*, 2005). En effet, ces animaux sont omnivores comme l'être humain et possèdent donc une flore intestinale comparable (monogastrique) (Campobasso, 2001). De plus, leur peau ressemble à la peau humaine (à l'exception de certaines espèces à peau noire) et les processus de décomposition du corps sont presque identiques (Campobasso, 2001). Chacune des carcasses de porc se voit attribuer un nom unique sous la forme suivante : PIG (Matériel biologique utilisé) - T (Témoin) ou P (Pentobarbital) ou C (Cocaïne) correspondant à la méthode de mise à mort employée.

Les porcs sont fournis par l'Institut Vétérinaire de l'Ulg (avec l'appui du vice-Doyen : Leroy Pascal).

²³ Voir photos de l'emplacement des carcasses en annexe 17

²⁴ Voir photos en annexe 18

5.3 Euthanasie

Deux méthodes différentes d'euthanasie ont été utilisées : une pour le témoin et une autre pour les deux porcs drogués. L'euthanasie d'un individu non drogué ne pouvant pas se faire par injection de produits chimiques, une méthode alternative a été choisie. *A contrario*, la mort d'individus par overdose nécessite une injection létale de la drogue proprement-dite.

Les euthanasies ont été pratiquées, par un vétérinaire, à la ferme expérimentale vétérinaire de l'Ulg en date du 04 mai 2010. Les carcasses ont été directement emballées dans du plastique afin d'éviter toute contamination entomologique avant le début de l'expérimentation proprement dite. Les trois carcasses ont été déposées vers 13 heures sur le site expérimental en date du 04 mai 2010.

5.3.1 Méthode physique

Un fusil à balle captive²⁵ a été utilisé pour tuer le porc considéré comme témoin. Cette méthode est préférée aux méthodes chimiques qui peuvent altérer la colonisation *post-mortem* des insectes par la présence de produits xénobiotiques dans l'organisme animal. Cette méthode aboutit à la fracture du crâne de l'animal et certains écoulements de sang sont à prévoir et à prendre en considération (Chevillon, 2004). En effet, la présence de sang attirera de manière plus rapide les Diptères nécrophages.

5.3.2 Méthode chimique

La mise à mort par méthode chimique correspond à l'injection d'une dose létale de drogue, diluée au préalable dans du liquide physiologique afin de faciliter la pénétration dans l'organisme. Les doses létales sont calculées en fonction du poids précis de chacun des individus afin d'éviter une erreur de dosage.

Afin d'éviter toute différence dans le protocole expérimental entre la carcasse de porc témoin et les deux carcasses de porcs « drogués », il convient d'utiliser, après overdose du sujet, un fusil à balle captive afin de reproduire le même blessure que sur le témoin. Afin d'éviter toute souffrance inutile à l'animal, les porcs drogués ont été abattus, par le fusil à balle captive, environ une minute après l'injection de la dose létale de drogue.

5.3.2.1 Pentobarbital²⁶

Il fait partie de la famille des barbituriques qui agissent au niveau des neurones gabaergiques (Scuvée-Moreau, 2010). Ces derniers sont impliqués dans le contrôle de l'excitabilité cellulaire,

²⁵ Voir annexe 19 pour des explications complémentaires.

²⁶ Voir annexe 20 pour la formule chimique.

l'état de veille, la mémoire, la coordination motrice ... (Scuvée-Moreau, 2010). Les barbituriques ont été utilisés principalement comme sédatifs et hypnotiques. Vu leur grand potentiel de dépendance humaine, ils ont été remplacés par les benzodiazépines (Reichl, 2004). Ils sont désormais utilisés uniquement en anesthésie vétérinaire (Pharmacopa, 2010). En fortes doses, ils sont utilisés dans l'euthanasie vétérinaire et même humaine, dans les pays où cela est légal (Pharmacopa, 2010). En Chine, les exécutions par injection létale s'effectue d'une dose massive pentobarbital (Pharmacopa, 2010). Les plus grands consommateurs de barbituriques sont les toxicomanes (EMCDDA, 2010).

Les barbituriques sont dérivés de la malonylurée²⁷ et synthétisés par l'industrie pharmaceutique et chimique. Il en existe plusieurs familles classées selon la durée d'action : très courte, courte, intermédiaire et longue. Le pentobarbital se situe dans la gamme de barbituriques à courte durée d'action (Scuvée-Moreau, 2010).

L'action générale des barbituriques est de déprimer le système nerveux central. Ils peuvent entraîner tous les degrés de dépression de ce dernier : sédation, anesthésie générale, coma et même la mort (Elephantcare, 2006). La fixation de la molécule sur le récepteur du neurone gabaergique entraîne la prolongation de l'ouverture de l'ionophore chlore²⁸ et l'augmentation de Cl⁻ dans la cellule : il y a donc hyperpolarisation membranaire empêchant l'apparition des potentiels d'action (Scuvée-Moreau, 2010). Ce phénomène entraîne donc, au niveau du cortex cérébral, une action dépressive résultant de l'élévation du seuil d'excitabilité des neurones et de la prolongation du temps de récupération après l'excitation (BIAM, 2010).

La dose létale de pentobarbital pour un porc de 25 kg se situe aux alentours de 750 mg (Elephantcare, 2010). Le pentobarbital utilisé lors de l'euthanasie se trouvait sous la forme d'une solution de Nembutal[®] sodique. Chaque millilitre de solution contient 50 mg de pentobarbital sodique dilué dans de l'eau, du propylène glycol (40 %) et de l'alcool (10 %) (RxList, 2008). Une dose équivalente à 750 mg (c'est-à-dire 15 cc de Nembutal[®]) a été administrée au porc, par un médecin vétérinaire, par injection dans la veine jugulaire.

²⁷ Acide entrant dans la composition des barbituriques. Il est formé par la combinaison d'acide malonique et d'urée (Dictionnaire réverso).

²⁸ Protéine régulant le passage d'ions Cl⁻ dans la cellule (Scuvée-Moreau, 2010).

5.3.2.2 Cocaïne²⁹

La cocaïne fait partie de la famille des psychostimulants et agit au niveau des neurones monoaminergiques³⁰ (Scuvée-Moreau, 2010).

Elle est préparée à partir des feuilles de la plante *Erythroxylon coca* (Reichl, 2004). Les feuilles sont séchées puis traitées par un solvant acide pour en extraire les alcaloïdes (principalement la benzoyleméthylecgonine) : ceci donne la cocaïne HCL, sous forme de poudre blanche, qui sera sniffée ou absorbée par les gencives (Scuvée-Moreau, 2010 ; EMCDDA, 2010).

La précipitation à chaud de la cocaïne HCL en milieu alcalin par du bicarbonate de soude ou de l'ammoniaque donne la cocaïne base ou « freebase » ou « crack » ayant une forme de petits cristaux qui seront fumés (Reichl, 2004 ; De Backer, 2008 ; Scuvée-Moreau, 2010). Il faut environ 400 kg de feuilles de cocaïer pour d'obtenir 1 kg de cocaïne base (De Backer, 2008). Il existe un crack préparé à peu de frais à partir de cocaïne HCL, de levure chimique et d'eau (Reichl, 2004).

L'action générale de la cocaïne est de stimuler le système nerveux central ce qui réside en une euphorie intense (Scuvée-Moreau, 2010 ; Reichl, 2004). La prise de cocaïne entraîne une augmentation des concentrations de dopamine, de sérotonine et de noradrénaline dans les neurones du cerveau par blocage de la recapture intraneuronale (Scuvée-Moreau, 2010). Lors d'une mort par overdose, c'est l'augmentation de la noradrénaline qui en est responsable. En effet, la noradrénaline va stimuler le système ortho-sympathique et entraîner une hausse de la pression sanguine et du rythme cardiaque mais aussi une vasoconstriction périphérique et une augmentation de la température du corps (Pharmacorama, 2010). L'ensemble de ses phénomènes amplifiés par la forte dose de cocaïne entraînera un collapsus cardio-respiratoire, une hémorragie intra-crânienne et un infarctus du myocarde (De Backer, 2008).

La dose létale est estimée à 1,2 g pour un être humain de 70 kg (Gable 2004 ; EMCDDA, 2010). Ceci correspond, pour un porc de 25 kg, à 0,43 g. Une dose de 0,50 g de cocaïne HCL, dilué dans du liquide physiologique, a été administrée au porc par injection dans la jugulaire par un médecin vétérinaire.

²⁹ Voir annexe 21 pour la formule chimique.

³⁰ Qualifie un neurone dont le neurotransmetteur est dérivé d'un acide aminé comme la dopamine, l'adrénaline, la noradrénaline et la sérotonine (Dictionnaire réverso).

5.4 Observations et récoltes entomologiques

Les observations et les récoltes d'insectes se font deux fois par semaine (le lundi et le jeudi).

5.4.1 Mesures environnementales

La température ambiante ainsi que le taux d'humidité ont été enregistrés toutes les heures et durant toute la durée de l'expérimentation à l'aide d'un enregistreur automatique de type «HOBO®» (HOBO RH/TEMP 8K). Ce dernier a été fixé au grillage de la cage du cochon témoin³¹ et se trouve sous la protection d'une boîte en plastique.

5.4.2 Observations visuelles

A l'arrivée, la première chose à faire est d'estimer la quantité d'insectes (Diptères et Coléoptères) présents autour et sur le cadavre. En effet, ne pouvant pas piéger la totalité des insectes, cette estimation permet d'avoir une idée globale de la quantité d'insectes présents. Une échelle de grandeur a été mise en place afin de la déterminer³². Cette même échelle de grandeur sera utilisée afin d'estimer la quantité de pontes et de larves de Diptères présentes sur le cadavre.

5.4.3 Volume corporel

Comme cité précédemment dans le point 5.1, quatre piquets en plastique entourent le corps de l'animal et permettent d'observer les changements de volume corporel durant la décomposition.

5.4.4 Piégeage de l'entomofaune

5.4.4.1 Bacs jaunes

Quatre bacs jaunes contenant de l'eau savonneuse ont été placés au sol de cette manière³³ : un au niveau antérieur de l'animal (A), un au niveau postérieur de l'animal (P), un du côté ventral (V) et un du côté dorsal (D). Ces derniers sont destinés à la capture des insectes volants. Les bacs sont relevés tous les lundis et tous les jeudis et les insectes sont placés dans des piluliers en fonction de la date, de la carcasse (T-P-C) et du type de piégeage (BJ). Les insectes sont conservés dans du Norvano³⁴ à 80 %.

³¹ Voir photo en annexe 22.

³² Voir fiche de terrain en annexe 23.

³³ Voir photos en annexe 18.

³⁴ Ethanol (97%) dénaturé par de l'éther (3%).

5.4.4.2 Pitfall traps

Les *pitfall traps* sont des bocaux en verre d'une hauteur de 15 cm et d'un diamètre de 8 cm remplis au tiers d'eau savonneuse (Dekeirsschieter, 2007). Six pitfall traps ont été placés autour de la carcasse comme suit³⁵ : un au niveau antérieur de l'animal (A), un au niveau postérieur de l'animal (P), deux du côté ventral (V1 = antérieur - ventral et V2 = postérieur - ventral) et deux du côté dorsal (D1 = antérieur - dorsal et D2 = postérieur - dorsal). Ils sont enterrés dans le sol avec leur partie supérieure affleurant la surface du sol. Ils sont également récoltés tous les lundis et jeudis. Les insectes récoltés sont ensuite placés dans des piluliers étiquetés en fonction de la date, de la carcasse (T-P-C) et du type de piégeage (PC = Piège à coléoptères). Les insectes sont conservés dans du Norvanol à 80 %.

5.4.5 Détermination des insectes

Les insectes récoltés ont tous été identifiés jusqu'à l'ordre (Haubruge, 2008). Les insectes appartenant à l'ordre des Diptères et des Coléoptères ont quant à eux été déterminés jusqu'à la famille (Charrier, 2002 ; Haubruge, 2008 ; Szpila, 2010b). Cependant, les Diptères de la famille des Calliphoridae et les Coléoptères de la famille des Silphidae ont été déterminés jusqu'à l'espèce, vu leur grande importance en entomologie forensique (Hastir *et al.*, 2001 ; Szpila, 2010a).

5.5 Description des stades de décomposition

Lors du traitement des données, la notion de stades de décomposition (définie au point 2.1) sera utilisée. Pour rappel, on distingue cinq stades de décomposition différents : le stade initial (*Fresh*), de gonflement (*Bloating*), de décomposition active (*Active decay*), de décomposition avancée (*Advanced decay*) et de squelettonisation (*Skeletonization*).

5.6 Description des groupes écologiques

Lors du traitement des données, la notion de groupes écologiques (définie au point 3.2.1) sera utilisée. Pour rappel, en fonction de leur régime trophique, les arthropodes que l'on retrouve sur un cadavre ont été classés en cinq groupes écologiques différents : les espèces nécrophages, nécrophiles, omnivores, opportunistes et accidentelles³⁶.

³⁵ Voir photos en annexe 18.

³⁶ Voir Tableau 7 en annexe 24 pour les principaux ordres et principales familles utilisées pour la formation des groupes écologiques.

5.7 Tableau des familles d'insectes ayant un intérêt en entomologie forensique

Tableau 8 : Tableau des familles d'insectes ayant un intérêt en entomologie forensique.

Coléoptère	Diptères
Cleridae	Calliphoridae
Dermestidae	Fanniidae
Nitidulidae	Muscidae
Silphidae	Piophilidae
Staphylinidae	Phoridae
	Sarcophagidae
	Scatophagidae
	Sciaridae
	Sphaeroceridae

5.8 Analyses statistiques

Les analyses statistiques³⁷ ont été réalisées à l'aide du logiciel Statistica® version 8.0 pour Windows. Des analyses de la variance à deux critères ont été réalisées. Dans ce type d'analyse, les lignes sont appelées des blocs et les colonnes des traitements. Dans le cas de cette étude, les blocs correspondront aux dates de récoltes des insectes appartenant à une certaine famille et les traitements correspondront au cochon sur lequel ces insectes ont été prélevés. Dans une analyse de la variance à deux critères, l'intérêt ne réside pas dans la comparaison des blocs (ils sont, en général, différents) mais bien dans la comparaison des traitements. Etant donné que le but de l'étude était de comparer la colonisation par les insectes nécrophages, au cours du temps, sur des carcasses de porcs différentes, le choix de ce test était tout à fait adéquat.

Cependant, il a fallu faire appel à des tests non paramétriques vu que les données utilisées ne suivent pas une distribution normale.

5.8.1 Test de Friedman

Le test de Friedman ($\alpha = 0,05$) est un test non paramétrique applicable lors de la comparaison de plusieurs variables appariées. Ce test a été appliqué aux différentes familles d'insectes ayant un intérêt en entomologie forensique. Pour chacune de ces familles, le test va donner une comparaison de l'effectif de cette famille au cours du temps en fonction du cochon sur lequel les effectifs ont été prélevés.

³⁷ Les différentes données brutes, à partir desquelles les tests statistiques ont été réalisés, se trouvent sur le CD-ROM joint à cet exemplaire de mémoire.

5.8.2 Test des rangs signés de Wilcoxon

Le test de Wilcoxon est un test non paramétrique applicable lorsque la variable n'est mesurée que dans deux traitements. Ce dernier permet la comparaison, deux à deux, des différents traitements. Ce test sera utilisé lorsque la comparaison des traitements par le test de Friedman donne un résultat significatif ($P \text{ Value} < 0,05$). Ceci permet donc la comparaison de l'effectif des insectes d'une famille, au cours du temps, entre deux porcs. Ce test sera donc appliqué trois fois afin de comparer le cochon témoin avec le cochon pentobarbital, le cochon témoin avec le cochon cocaïne et le cochon pentobarbital avec le cochon cocaïne.

6. Résultats et discussions

6.1 Les stades de décomposition

La Figure 22 illustre les quatre stades de décomposition des trois carcasses. En effet, le stade « *Skeletonization* » ne sera atteint qu'après plus de trois mois de décomposition (Galloway, 1997) et l'expérimentation a duré du 04 mai 2010 au 01 juillet 2010. Cependant, l'activité entomologique est fortement réduite durant ce stade et on note principalement la présence de Coléoptères Nitidulidae et Dermestidae (Gunn, 2006 ; CMNH, 2009).

	Fresh	Bloating	Active decay	Advanced decay
Porc Témoin	 04/05	 10/05	 24/05	 17/06
Porc Pentobarbital	 04/05	 10/05	 31/05	 17/06
Porc Cocaïne	 04/05	 10/05	 27/05	 17/06

Figure 22 : Stades de décomposition des trois porcs avec les dates de début de chaque stade.

On note un décalage de sept jours, en ce qui concerne le début du stade « *Active decay* », entre le cochon témoin et le cochon pentobarbital. Cependant, le décalage concernant le début du stade « *Active decay* » entre le cochon témoin et le cochon « drogué » avec de la cocaïne est de quatre jours. Le début du stade « *Advanced decay* » débutera sans décalage entre le cochon témoin et les cochons « drogués ». Ceci implique donc que le stade « *Active decay* » est plus court chez les cochons « drogués ». Pour rappel, ce stade est caractérisé par la présence d'importantes masses de larves de Diptères et débute par la déchirure de la peau par les larves (Matuszewski *et al.*, 2008). Les drogues pouvant avoir un effet sur le développement des larves (Goff, 1991 ; Tracqui *et al.*, 2004 ; George, 2009), il est probable que la croissance de ces dernières ait été accélérée.

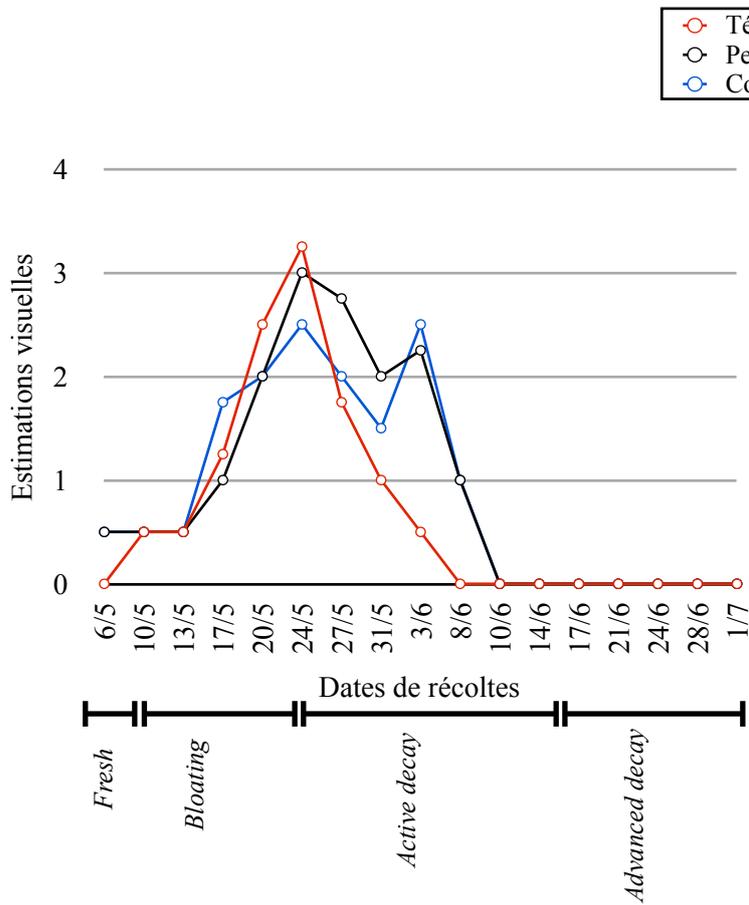


Figure 23 : Estimation visuelle (échelle de 1 à 5) des pontes de Diptères présentes sur les trois porcs, au cours du temps. Présence de l'identification des stades de décomposition.

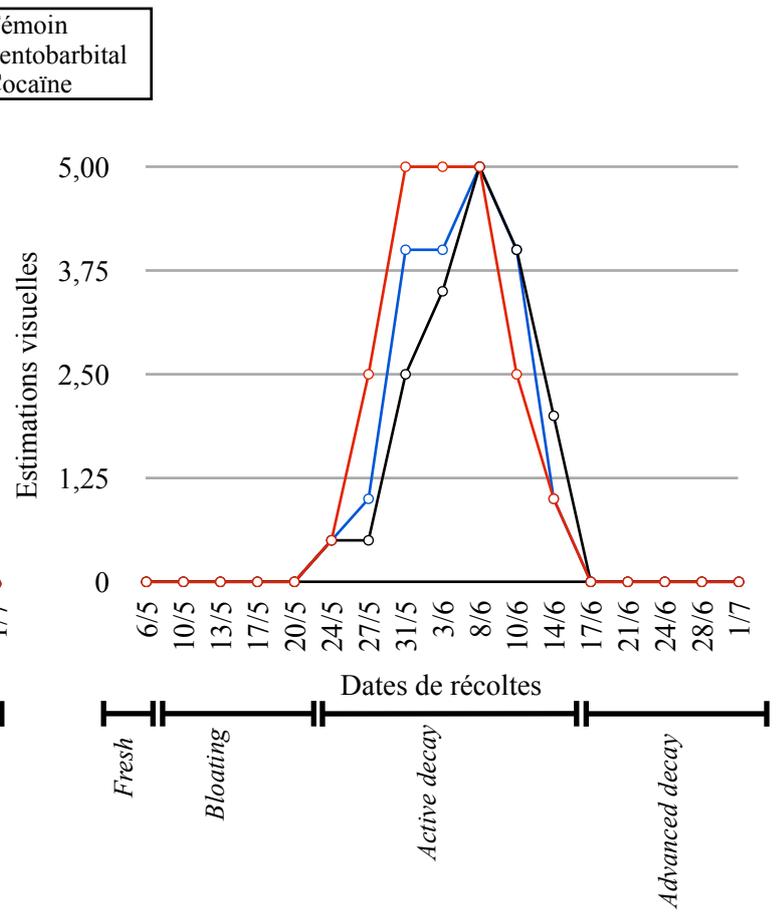


Figure 24 : Estimation visuelle (échelle de 1 à 5) des larves de Diptères présentes sur les trois porcs, au cours du temps. Présence de l'identification des stades de décomposition.

Le stade larvaire L3 serait plus rapidement atteint sur les carcasses « droguées » ce qui entraînerait une dégradation plus rapide de celles-ci. Ces mêmes larves vont atteindre plus rapidement la fin de leur développement et donc quitter plus rapidement la carcasse afin de subir leur pupaison et c'est cette migration qui signe le passage du stade « *Active decay* » au stade « *Advanced decay* » (Carter *et al.*, 2006 ; Matuszewski *et al.*, 2008).

6.2 L'entomofaune nécrophage

6.2.1 Observations visuelles des stades juvéniles : pontes et stades larvaires de Diptères

Les Figures 23 et 24 reprennent, respectivement, l'estimation visuelle de la quantité de pontes de Diptères et de la quantité de larves de Diptères, sur les trois carcasses de porcs. La présence des pontes et des larves va fortement influencer la présence d'autres insectes (exemple : arrivée des nécrophiles qui vont s'en nourrir). Durant leur phase de croissance active, les larves vont aussi fortement influencer la décomposition des porcs en se nourrissant des tissus cadavériques.

La Figure 23 montre une colonisation par les Diptères assez rapide vu la présence de pontes dès le premier jour de récolte des données, soit 2 jours *post-mortem*. Cette rapide apparition des Diptères a été de nombreuses fois prouvée (Campobasso *et al.*, 2001 ; Wolff, 2001 ; Segura, 2009). Ensuite, la quantité de pontes va augmenter durant le stade « *Bloating* » et atteindre son maximum en abondance chez les trois porcs en date du 24/05, soit 20 jours *post-mortem*. Le passage au stade « *Active decay* » chez le porc témoin se produit après 20 jours *post-mortem* alors que ce stade ne sera atteint qu'une semaine plus tard chez les porcs « drogués ». On note une rupture de la peau causée par les larves chez le porc témoin ce qui explique l'abondance croissante de ces dernières. Ce phénomène se produira une semaine plus tard, soit 27 jours *post-mortem*, chez les porcs « drogués » avec, dans un premier temps, un plus grand nombre de larves visibles chez le porc « drogué » avec de la cocaïne. Jusqu'au 03/06 (soit 30 jours *post-mortem*), on note une diminution de la présence de pontes et une augmentation des masses larvaires qui atteindront leur maximum d'abondance en date du 08/06, soit 35 jours *post-mortem*. En ce qui concerne les porcs « drogués », il apparaît de nouvelles pontes le 03/06 : ces dernières ont été comptabilisées jusqu'au 08/06 cependant elles ont séché et n'ont jamais donné de larves. Les dernières pontes viables des trois cochons éclosent donc en datent du 03/06, soit 30 jours *post-mortem*. Les dernières larves migreront, quant à elle, entre le 14/06 et le 17/06 (soit entre 41 et 44 jours *post-mortem*) et signeront le début du stade « *Advanced decay* » pour les trois porcs.

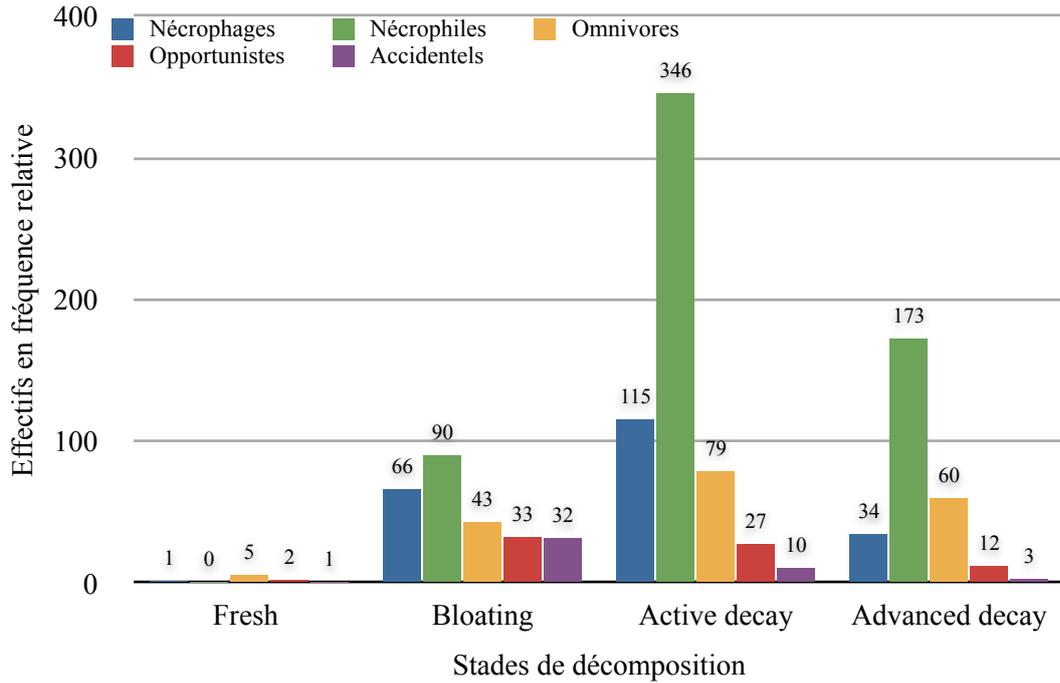


Figure 26 : Effectifs en fréquence relative des cinq groupes écologiques en fonction des stades de décomposition sur le porc « drogué » avec du pentobarbital (PIG - P).

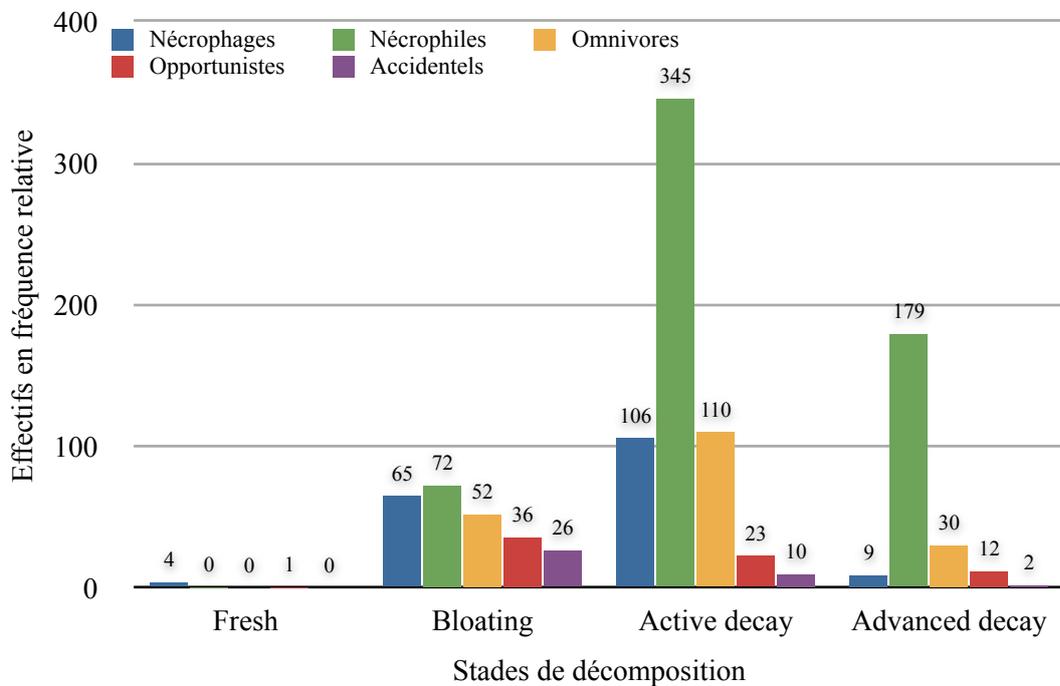


Figure 27 : Effectifs en fréquence relative des cinq groupes écologiques en fonction des stades de décomposition sur le porc « drogué » avec de la cocaïne (PIG - C).

6.2.2 Les groupes écologiques autour d'une carcasse en décomposition

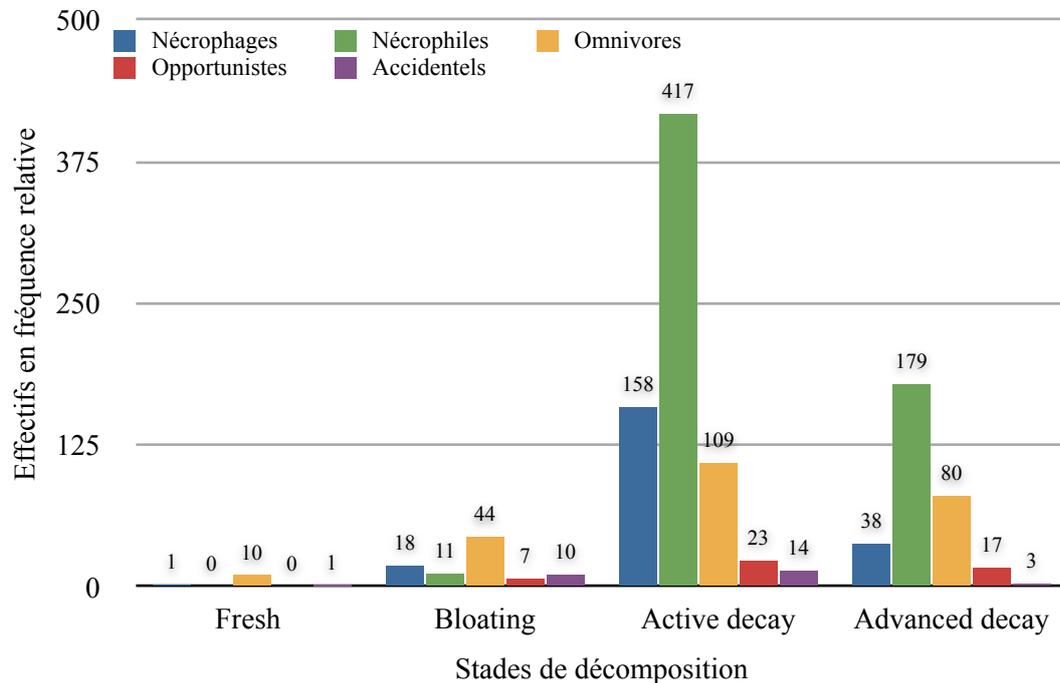


Figure 25 : Effectifs en fréquence relative des cinq groupes écologiques en fonction des stades de décomposition sur le porc témoin (PIG - T).

Les effectifs des histogrammes présentés sur les Figures 25, 26 et 27 sont exprimés en fréquence relative. Ceci correspond à l'effectif total du groupe écologique divisé par le nombre d'ordres et/ou de familles qui le compose³⁸.

Ces trois figures montrent des profils similaires de colonisation par les insectes sur les trois porcs : une augmentation des effectifs du stade « *Fresh* » jusqu'au stade « *Active decay* » suivi d'une diminution de ces derniers aux stades « *Advanced decay* ». En effet, on note l'apparition des espèces nécrophages dès le stade « *Fresh* » chez les trois carcasses de porcs. Ceci semble tout à fait logique étant donné que les espèces nécrophages se nourrissent du cadavre et viennent pondre sur ce dernier afin que leurs larves s'y nourrissent également. L'apparition des espèces nécrophiles se fait à partir du stade « *Bloating* », stade durant lequel les pontes de Diptères commencent à devenir fortement présentes sur les carcasses. Cette apparition reste cohérente avec l'écologie des espèces nécrophiles qui colonisent le cadavre afin de se nourrir principalement des larves et des oeufs de Diptères. Durant ce stade de décomposition, on remarque que les effectifs des espèces nécrophages et nécrophiles sont nettement inférieurs pour le porc témoin par rapport aux effectifs des deux porcs « drogués ». De plus, toujours dans le stade « *Bloating* », les effectifs des espèces nécrophiles sont

³⁸ Voir Tableau 7 en annexe 24 pour les principaux ordres et principales familles utilisées pour la formation des groupes écologiques.

inférieurs à ceux des espèces nécrophages pour le porc témoin alors que l'on observe la situation inverse pour les deux porcs « drogués ».

Ensuite, les espèces nécrophages et nécrophiles vont voir leurs effectifs s'accroître pour atteindre leur maximum en abondance durant le stade « *Active decay* » ; stade durant lequel le nombre de larves de Diptères sera le plus important de toute l'expérience. La forte présence d'espèces nécrophiles s'explique par le fait que le nombre de larves croît et qu'il y a donc beaucoup de proies disponibles et que celles-ci vont donc attirer plus de prédateurs. La présence en nombre considérable d'espèces nécrophages dans les pièges peut s'expliquer par le fait que les carcasses restent toujours attractives du point de vue des odeurs. En effet, c'est à partir de ce stade que les odeurs sont les plus fortes et donc elles vont donc attirer plus d'insectes (Gunn, 2006 ; Shkrum *et al.*, 2007 ; Matuszewski *et al.*, 2008).

A partir du stade « *Advanced decay* », les espèces nécrophages diminuent fortement et ne colonisent plus les carcasses alors que les espèces nécrophiles restent présentes, et en nombre important, jusqu'à la fin de l'expérimentation.

Les espèces omnivores, malgré leur grand nombre tout au long des différents stades, ne sont pas très utiles en entomologie forensique. Les espèces opportunistes et accidentelles ne doivent, probablement, leur présence qu'à l'expérimentation en milieu forestier.

Bien que la succession des groupes écologiques en fonction des différents stades de décomposition semblent être similaire entre les trois carcasses ; un test de Friedman ($\alpha = 0,05$) a été appliqué aux groupes écologiques des espèces nécrophiles et nécrophages. Ce test a également été appliqué aux mêmes groupes afin de mettre en évidence une différence significative de succession des groupes écologiques en fonction du temps entre les trois carcasses.

Les résultats statistiques ne montrent aucune différence significative de succession des groupes écologiques que ce soit en fonction des stades de décomposition ou en fonction du temps entre les trois carcasses. Le test de Wilcoxon sur les espèces nécrophages et nécrophiles ne montre également aucune différence significative concernant la succession des groupes écologiques en fonction des stades de décomposition ou en fonction du temps entre les carcasses.

6.2.3 Diptères

6.2.3.1 Ensemble des Diptères récoltés lors de l'expérimentation

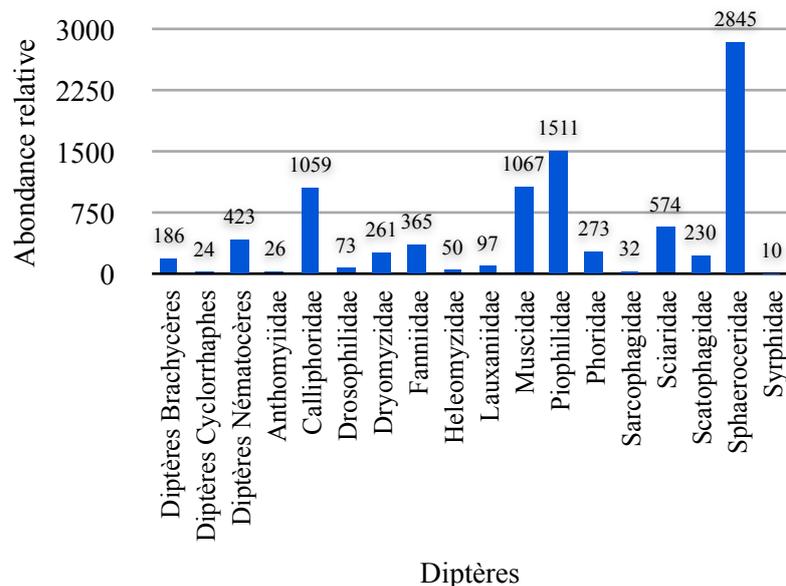


Figure 28 : Abondance relative des Diptères sur la totalité de l'expérience.

La Figure 28 montre le total des Diptères adultes récoltés sur les trois carcasses en décomposition, soit 9110 spécimens sur un total d'environ 29.000 insectes piégés. Ces derniers ont été déterminés jusqu'à la famille uniquement pour les familles d'importance forensique (Wyss et Cherix, 2006 ; Szpila, 2010b). Le reste des Diptères récoltés ont été classés selon leur appartenance à un certain sous-ordre : les Brachycères, les Cyclorhaphes (également composés des familles d'intérêt en entomologie forensique à l'exception des Sciaridae qui sont des Nématocères) et les Nématocères. Les Calliphoridae, les Fanniidae, les Muscidae, les Piophilidae, les Phoridae et les Sarcophagidae possèdent des espèces attirées par les cadavres humains et dont le cycle de développement se déroule sur ce type de substrat (Wyss et Cherix, 2006). Vu leur plus grande utilité dans les enquêtes criminelles à l'heure actuelle, la discussion portera essentiellement sur ces six dernières familles. En effet, un certain nombre d'espèces, des familles que l'on retrouve habituellement sur une carcasse, ne colonisent un cadavre que pour se nourrir des liquides et ne s'y reproduisent pas (Wyss et Cherix, 2006).

Il est à noter la présence d'effectifs conséquents de familles encore peu connues et peu utilisées en entomologie forensique comme les Sciaridae, les Scatophagidae et les Sphaeroceridae. Malgré leur nombre considérable, la difficulté d'identification et le peu d'informations existant sur leur biologie en font des familles peu utilisées à l'heure actuelle (Rohaček et al, 2001 ; Wyss et Cherix, 2006).

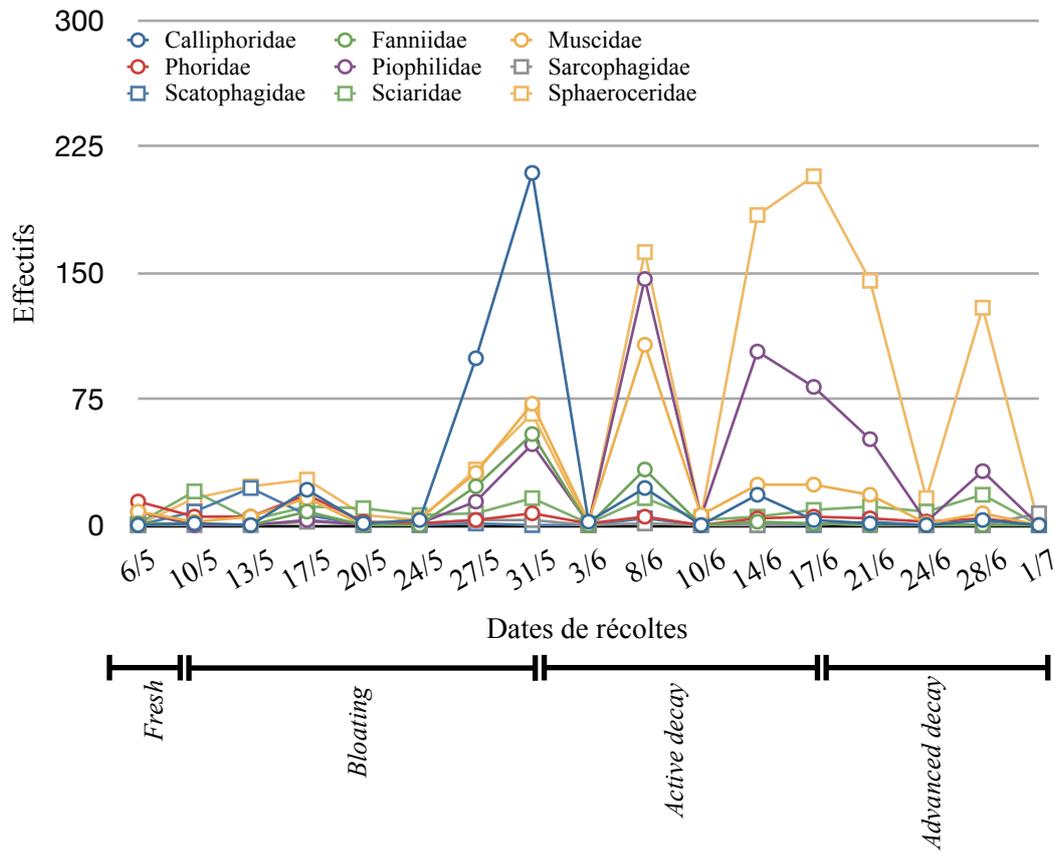


Figure 30 : Effectifs des principales familles de Diptères d'intérêt forensique au cours de l'expérimentation sur le porc « drogué » avec du pentobarbital.

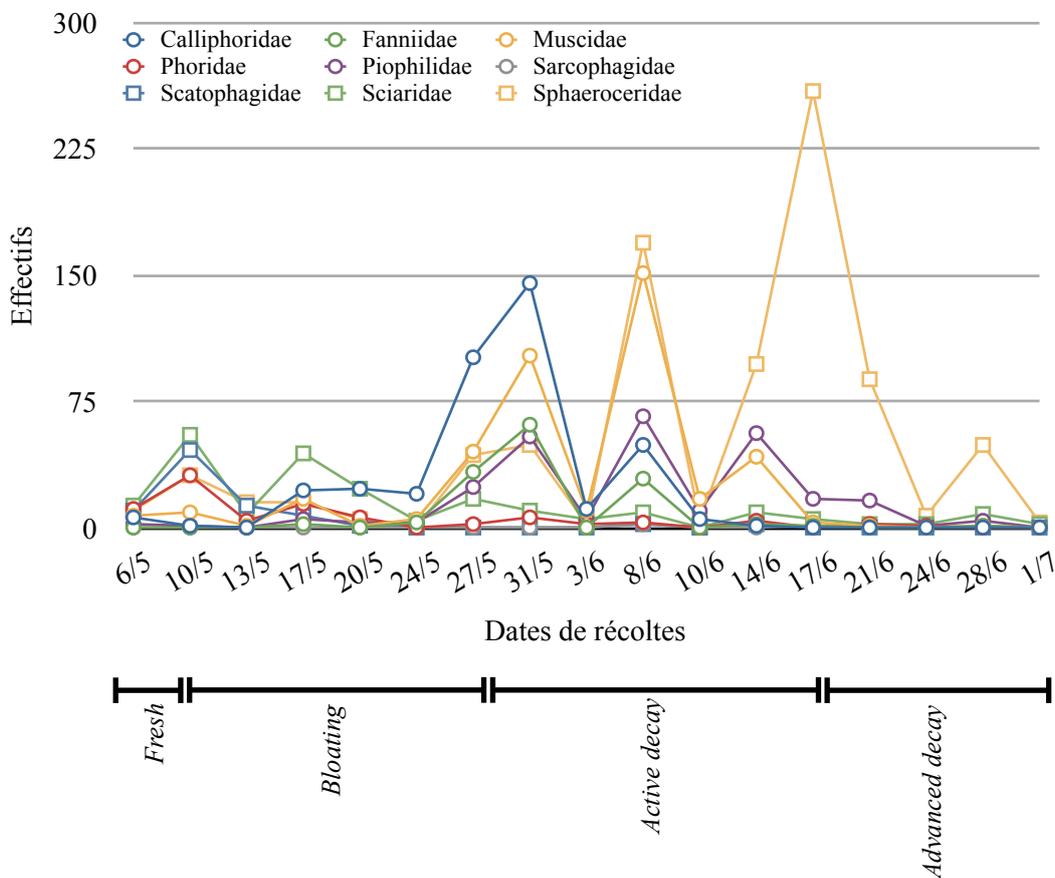


Figure 31 : Effectifs des principales familles de Diptères d'intérêt forensique au cours de l'expérimentation sur le porc « drogué » avec de la cocaïne

On remarque une nette prédominance, en terme d'abondance, des Calliphoridae, des Muscidae et des Piophilidae (respectivement 1059, 1069 et 1511 spécimens). Les Fanniidae et les Phoridae présentent de faibles effectifs (respectivement 365 et 273 spécimens) sur la totalité de l'expérience alors que les Sarcophagidae ne montrent que quelques représentants (32 spécimens récoltés exactement) par rapport aux cinq autres familles les plus importantes.

6.2.3.2 Les familles de Diptères les plus importantes en entomologie forensique

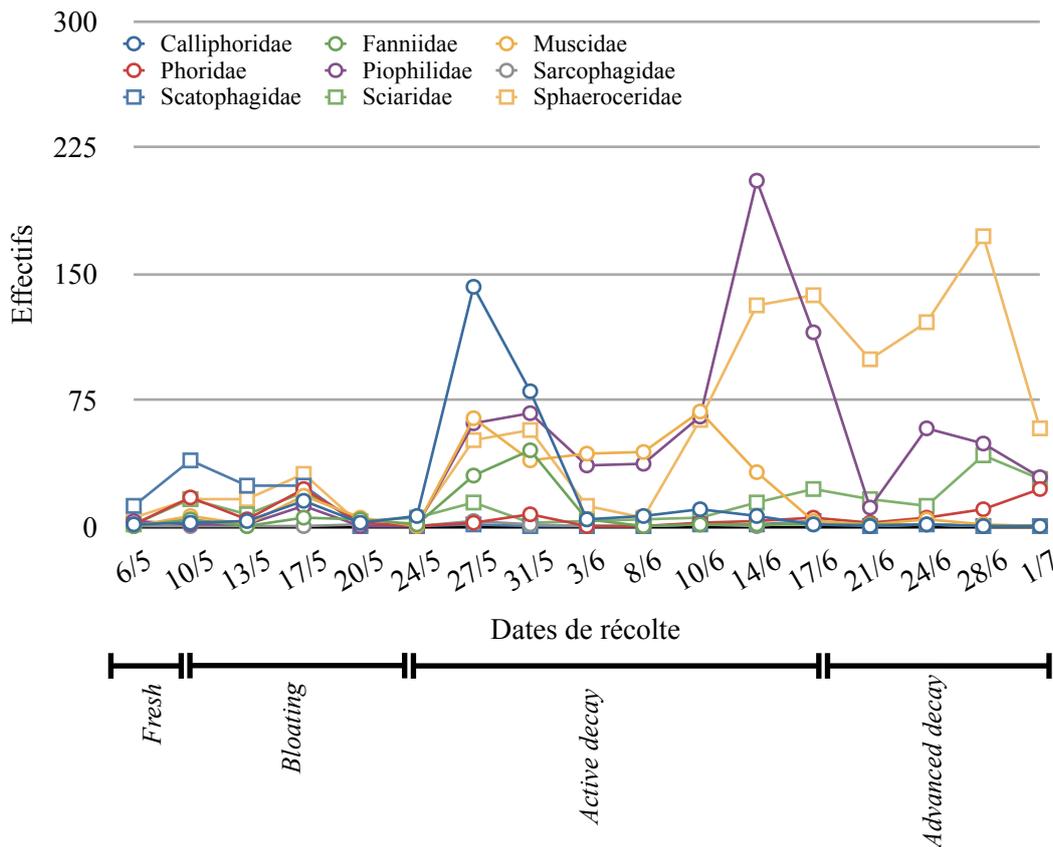


Figure 29 : Effectifs des principales familles de Diptères d'intérêt forensique au cours de l'expérience sur le porc témoin

Les Figures 29, 30 et 31 montrent des profils de colonisation *post-mortem* similaires par les Diptères au cours du temps.

On note durant le stade « *Fresh* » (dès la mort de l'individu jusqu'au 06/05, soit 2 jours *post-mortem*), la présence de Scatophagidae et de Sphaeroceridae pouvant être, probablement, expliquée par la présence de matière fécale dans le tractus digestif des porcs. En effet, certaines espèces de ces deux familles sont des scatophages reconnus (Chandler, 1974 ; Rohaček *et al*, 2001). Les Scatophagidae seront encore présentes durant une partie du stade « *Bloating* » (jusqu'au 17/05, soit 13 jours *post-mortem*) puis ne seront plus piégées jusqu'à la fin de l'expérience. Les

Sphaeroceridae seront, quant à elle, récoltées en nombre important tout au long de l'expérimentation.

On remarque la présence de deux autres familles faiblement représentées dès le stade « *Fresh* » et durant tous les stades de décomposition : les Phoridae et les Sciaridae. Ce sont deux familles associées aux champignons mais aussi à toute sorte de matière en décomposition et peuvent se retrouver sur des carcasses en décomposition (Agrisense, 2009). Les Phoridae sont connues pour se reproduire sur les cadavres humains et plus particulièrement sur les cadavres enterrés cependant les entomologistes forensiques en retirent peu d'informations utiles à l'heure actuelle (Bourel, 2004 ; Wyss et cherix, 2006).

L'apparition d'un plus grand nombre de Calliphoridae et de Muscidae se fera à partir du 24/05, soit 20 jours *post-mortem*. Rappelons que c'est à partir d'un délai de 20 jours *post-mortem* que nous avons vu les pontes atteindre leurs maximums et que les effectifs de larves ont commencé à augmenter.

Dès le passage du stade « *Bloating* » au stade « *Active decay* », les effectifs de *Calliphoridae* et de *Muscidae* vont augmenter considérablement sur les trois carcasses. Nous nous trouverons donc à 20 jours *post-mortem* pour le cochon témoin et entre 23 et 27 jours *post-mortem* pour les cochons « drogués ». Lors de ce changement de stade, les effectifs de *Calliphoridae* correspondront aux effectifs maximums rencontrés durant toute l'expérience et ce, sur les trois porcs. Les maximums d'effectifs de *Muscidae* ne seront rencontrés qu'en date du 10/06 (soit 37 jours *post-mortem*) sur le cochon témoin alors qu'ils seront rencontrés en date du 08/06 sur les cochons « drogués » (soit 35 jours *post-mortem*). Il est à noter que l'on retrouve un nombre assez conséquent de *Calliphoridae* sur le cochon drogué à la cocaïne en date du 08/06 (soit 36 jours *post-mortem*) et sur le cochon drogué au pentobarbital en date du 08/06 et du 14/06 (soit, respectivement, 35 et 41 jours *post-mortem*). Cependant on ne rencontre plus que quelques spécimens de *Calliphoridae* depuis le 03/06 et ce, jusqu'à la fin de l'expérimentation sur le cochon témoin.

Vu l'avancée de la décomposition des carcasses et le nombre de larves déjà présentes, les Diptères n'ont plus la possibilité de pondre sur les carcasses. Cependant, on note une forte présence de Diptères nécrophages cherchant un endroit pour pondre. Ces effectifs importants de *Calliphoridae* et de *Muscidae* pourrait s'expliquer par le fait que les carcasses restent toujours attractives du point de vue des odeurs jusqu'à la fin du stade « *Active decay* » (Matuszewski *et al.*, 2008). En effet, dès le passage des carcasses au stade « *Advanced decay* », on ne trouve pratiquement plus d'individus de ces deux familles et ceci est corrélé avec une faible odeur de décomposition provenant de la carcasse (Matuszewski *et al.*, 2008). Une autre explication pourrait être l'émergence d'une génération nouvellement éclosée aux alentours des carcasses.

Ces deux familles sont les plus utilisées en entomologie forensique car les carcasses ne vont être, pratiquement, colonisées que par leurs larves (Wyss et Cherix, 2006). De plus, ces dernières sont principalement utilisées dans l'estimation des IPMs mais aussi, dans des dosages entomotoxicologiques (Gagliano-Candela, 2001 ; Wyss et Cherix, 2006)

Des Fanniidae vont également être présentes, mais en nombre moins important que les deux familles précitées, à partir de 20 jours *post-mortem* sur les trois porcs. Elles atteindront leur maximum d'effectifs en date du 31/05 (soit 27 jours *post-mortem*) et on n'en retrouvera quasi plus à partir du 08/06 (soit 35 jours *post-mortem*) et ce, jusqu'à la fin des récoltes entomologiques.

Les Piophilidae font leur apparition en même temps que les Calliphoridae et les Muscidae à partir de 20 jours *post-mortem*. Elles vont être présentes en nombre important, sur les trois carcasses, durant les stades « *Active decay* » et « *Advanced decay* ». Habituellement, cette famille arrive tardivement dans la décomposition des carcasses et est très intéressante pour les entomologistes forensiques lorsqu'un corps est découvert durant le stade « *Advanced decay* » (Horenstein *et al.*, 2010). Ces Diptères sont rencontrés au moment de la fermentation des matières protéiques de la carcasse qui se produit à la fin du stade « *Active decay* » et principalement durant le stade « *Advanced decay* » (Mégnin, 1894 ; Martinez, 2007 ; Horenstein *et al.*, 2010). Dans notre cas, on remarque une arrivée plus précoce de cette famille de Diptères.

Bien que la colonisation des trois carcasses par les Diptères ne semblent se distinguer les unes des autres de manière évidente ; un test de Friedman ($\alpha = 0,05$) a été appliqué sur les neuf familles de Diptères, les plus importantes en entomologie forensique (Figures 29, 30 et 31).

Il ressort des analyses statistiques que les effectifs des Sphaeroceridae diffèrent entre les trois carcasses au cours du temps³⁹ ($\text{Chi}^2 (N = 17, \text{dl} = 2) = 6,030303 ; p = 0,04904$). Ensuite, le test de Wilcoxon⁴⁰ a été appliqué aux neuf mêmes familles. Il en ressort l'existence d'une différence de colonisation des Piophilidae et des Sphaeroceridae, au cours du temps, entre le cochon témoin et le cochon « drogué » avec de la cocaïne (Respectivement : $Z = 2,38 ; p = 0,017379$ et $Z = 1,96 ; p = 0,049469$).

³⁹ Voir Tableau 9 en annexe 25 pour les résultats du test de Friedman.

⁴⁰ Voir Tableau 10 en annexe 26 pour les résultats du test de Wilcoxon.

6.2.3.3 Les espèces de Calliphoridae

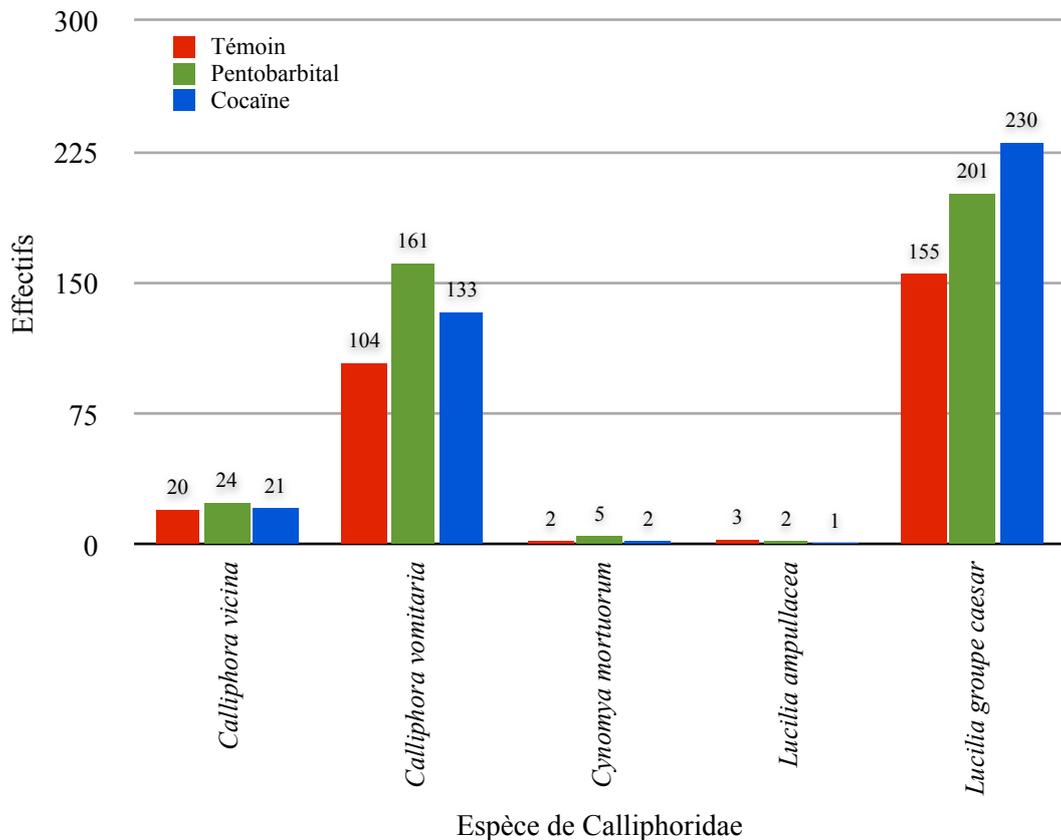


Figure 32 : Effectifs des espèces de Calliphoridae présentes sur les trois carcasses de porc.

La Figure 32 montre une forte colonisation des trois carcasses de porc par *Lucilia* groupe *caesar* et *Calliphora vomitoria*. Les effectifs de *L.* groupe *Caesar* sont les plus importants sur le porc « drogué » à la cocaïne alors que les effectifs de *C. vomitoria* sont les plus importants sur le porc « drogué » avec du pentobarbital. Les effectifs de *Calliphora vicina* sont faibles mais équivalents entre eux, sur les trois carcasses de porc. Les effectifs de *Cynomya mortuorum* et de *Lucilia ampullacea* sont, quant à eux, très faibles.

Calliphora vomitoria, *Calliphora vicina* et *Lucilia* groupe *caesar* sont les espèces les plus récoltées sur les trois porcs et ce, durant les stades « *Bloating* » et « *Active decay* » essentiellement. Ces trois espèces sont les plus communes des Calliphoridae dans nos régions et sont retrouvées en grand nombre, sur les carcasses en décomposition (Chinery, 2005 ; Matuszewski, 2010). *C. vicina* et *C. vomitoria* font partie des espèces les plus importantes en entomologie forensique par l'utilisation de leurs larves dans l'estimation des IPMs (Wyss et Cherix, 2006).

6.2.4 Coléoptères

6.2.4.1 Ensemble des Coléoptères récoltés lors de l'expérimentation

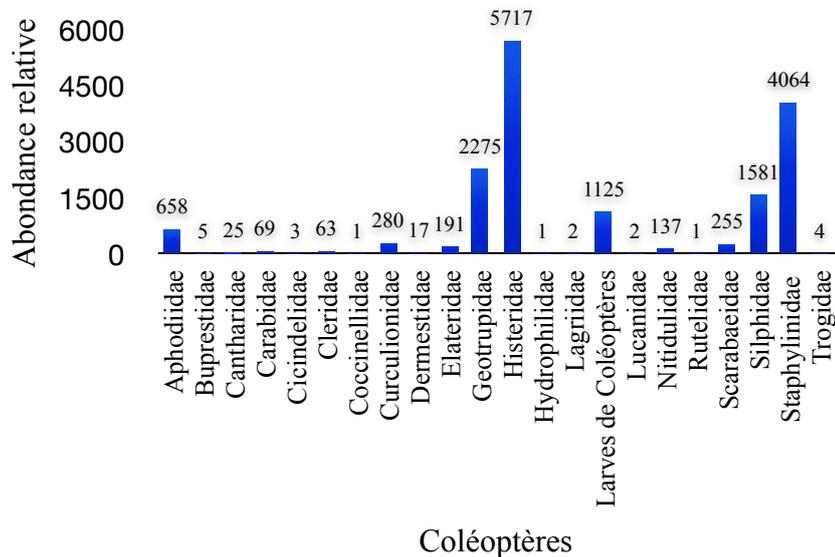


Figure 33 : Abondance relative des familles de Coléoptères sur la totalité de l'expérience.

La figure 33 illustre l'ensemble des Coléoptères récoltés durant l'expérimentation, soit 16.976 spécimens. Certaines familles n'ont pas été sélectionnées comme les familles d'espèces coprophages (Aphodiidae, Geotrupidae et Scarabaeidae) et de phytophages ou xylophages (Curculionidae, Elateridae...) qui sont présentes tout au long de l'expérience et qui sont à mettre en relation avec le milieu forestier. De plus, la forte présence d'Aphodiidae (plus particulièrement, *Aphodius sp*) pourrait être due à un phénomène phénologique (Matuszewski *et al.*, 2008). Dans le cas précis des Geotrupidae, *Anoplotrupes stercorosus* est le seul représentant récolté à l'exception de trois *Thypaeus typhoeus*. Ces espèces de Geotrupidae n'ont pas d'utilité en entomologie forensique (Matuszewski *et al.*, 2010). Dans le cas précis des Scarabaeidae, seul le genre *Onthophagus* est représenté.

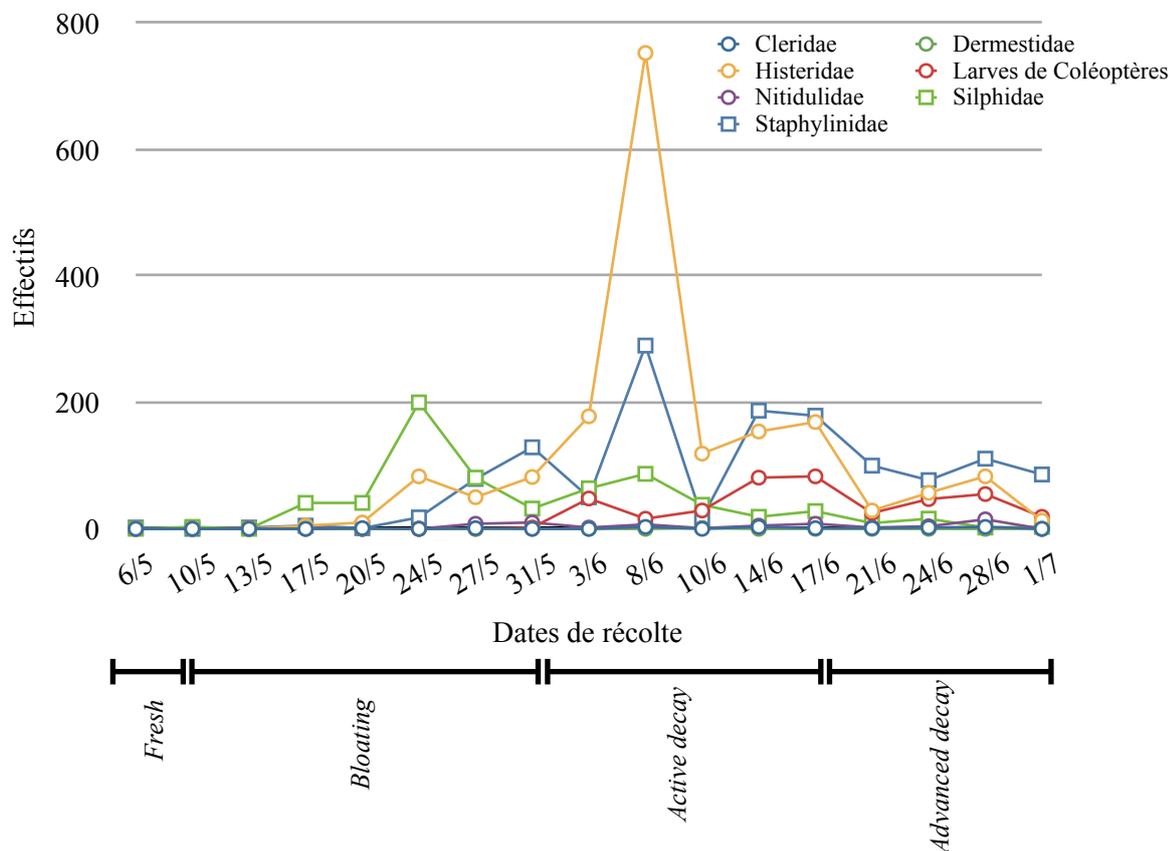


Figure 35 : Graphique des effectifs des principales familles de Coléoptères d'intérêt forensique au cours de l'expérimentation sur le porc « drogué » avec du pentobarbital.

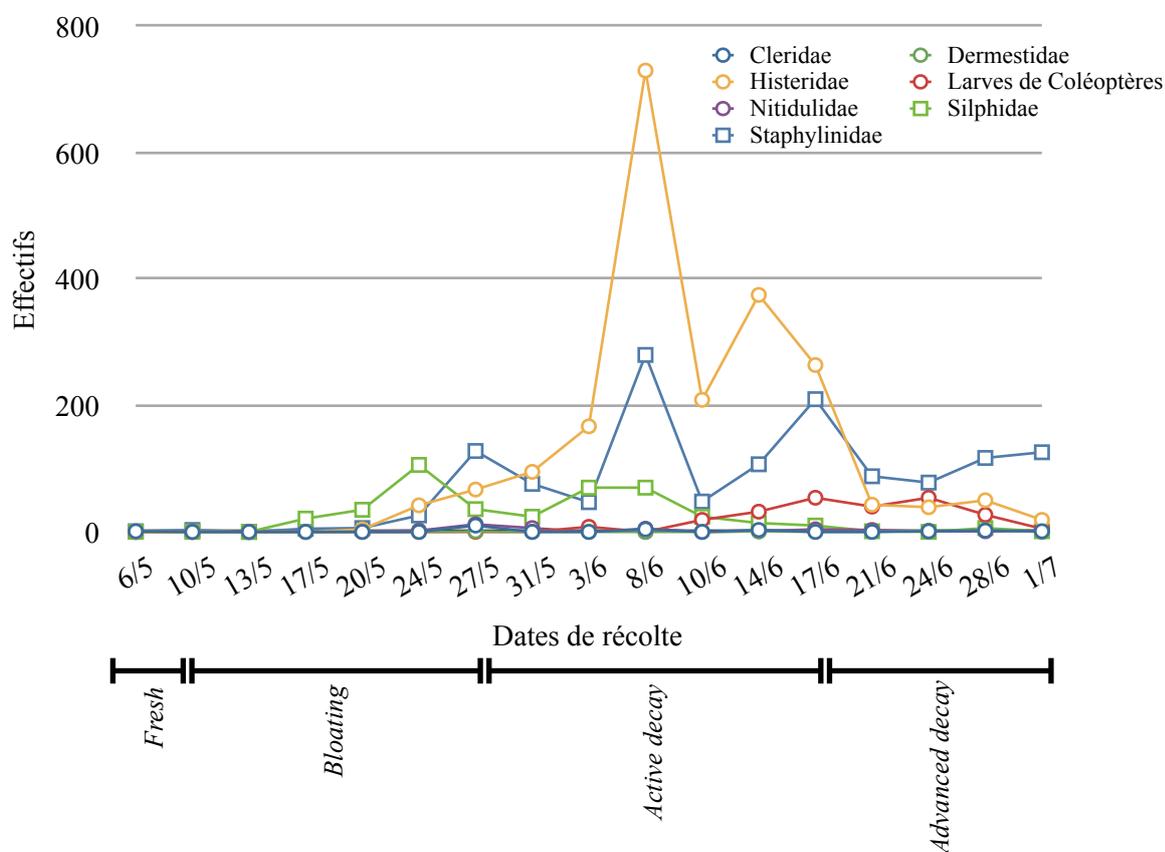


Figure 36 : Graphique des effectifs des principales familles de Coléoptères d'intérêt forensique au cours de l'expérimentation sur le porc « drogué » avec de la cocaïne.

6.2.4.2 Les familles de Coléoptères les plus importantes en entomologie forensique

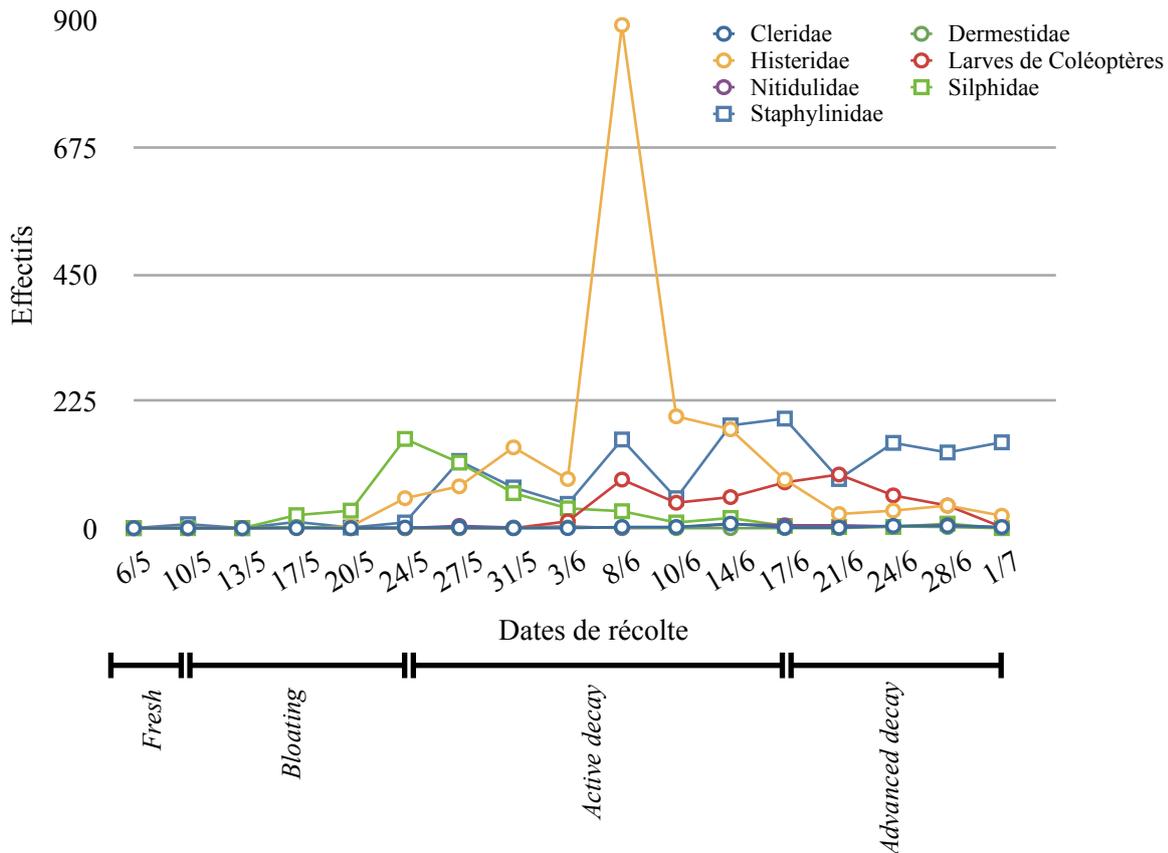


Figure 34 : Effectifs des principales familles de Coléoptères d'intérêt forensique au cours de l'expérimentation sur le porc témoin.

Les Figures 34, 35 et 36 montrent des profils de colonisation *post-mortem* par les Coléoptères similaires. Durant le stade « *Fresh* », on note la présence de très faibles effectifs des différentes familles de Coléoptères, seuls 4 ou 5 spécimens ont été capturés sur chaque carcasse de porc. La situation est identique durant le passage des carcasses vers le stade « *Bloating* » et ce n'est qu'à partir du 17/05 (soit 13 jours *post-mortem*) que les Silphidae colonisent le cadavre. Cette date correspond à l'apparition des premières pontes consécutives de Diptères.

Jusqu'au 24/05 (soit 20 jours *post-mortem*), les pontes se font de plus en plus importantes et les premières larves de Diptères apparaissent. A cette date, les Silphidae sont en plus grand nombre ; ils se nourrissent à la fois du cadavre, des oeufs et des larves de Diptères et occupent donc une niche écologique qui leur est favorable (Wyss et Cherix, 2006 ; Capinera, 2008 ; Bourbonnais, 2010a).

Le passage du stade « *Bloating* » au stade « *Active decay* » ainsi que l'apparition d'un nombre important de larves de Diptères se fera après 20 jours *post-mortem* (24/05) pour le cochon témoin, après 24 jours *post-mortem* (27/05) pour le cochon « drogué » avec de la cocaïne et après

27 jours *post-mortem* (31/05) pour le cochon « drogué » avec du pentobarbital. Les dates d'apparition d'effectifs importants d'Histeridae, de Staphylinidae et de leurs larves coïncident avec le changement de stade (du stade « *Bloating* » au stade « *Active decay* ») et avec l'augmentation du nombre des larves de Diptères.

Les Histeridae, les Staphylinidae et les différentes larves de Coléoptères⁴¹ vont accroître leur nombre de manière corrélée aux effectifs de larves de Diptères pour atteindre leur maximum en date du 08/06, soit (35 jours *post-mortem*). Ceci s'explique par le fait que ces familles de Coléoptères ainsi que leurs larves sont nécrophiles et vont donc se nourrir principalement des larves de Diptères (Wyss et Cherix, 2006 ; Gennard, 2007 ; Capinera, 2008). Les Silphidae vont probablement profiter de la présence de cette importante « *maggot mass*⁴² » pour réoccuper une partie de la niche écologique à cette période.

En date du 10/06 (soit 37 jours *post-mortem*), il apparaît une diminution importante des effectifs des trois familles précitées. Les effectifs des Silphidae, des Staphylinidae et des Histeridae vont diminuer en suivant la diminution du nombre de larves de Diptères qui quitteront définitivement la carcasse, en vue de leur pupaison, entre le 14/06 et le 17/06 (soit entre 41 et 44 jours *post-mortem*) pour les trois porcs. À partir de ces dates, les effectifs des Staphylinidae stagnent et ceux des Silphidae et des Histeridae tendent à devenir nuls. En effet, les trois carcasses en décomposition passe au stade « *Advanced decay* ». Stade dans lequel il n'y a plus de larves de Diptères ; la carcasse n'est plus constituée que d'os et de lambeaux de peau. La présence d'insectes pourrait être due au fait que cette dernière garde une certaine odeur qui pourrait toujours être attractive pour les insectes.

Bien que la colonisation par les Coléoptères des trois carcasses ne semblent se distinguer les unes des autres de manière évidente, un test de Friedman ($\alpha = 0,05$) a été appliqué sur les larves de Coléoptères et sur les six familles de Coléoptères les plus importantes en entomologie forensique (Figures 12, 13 et 14).

Il ressort des tests statistiques que les effectifs des larves de Coléoptères et ceux des Silphidae diffèrent entre les trois carcasses au cours du temps⁴³ (Larves de Coléoptères : Chi^2 (N = 17, dl = 2) = 6,125000 ; p = 0,04677 et Silphidae : Chi^2 (N = 17, dl = 2) = 10,47458 ; p = 0,00532).

⁴¹ Présence des larves de *Silphidae*, de *Staphylinidae* et d'*Histeridae*.

⁴² Voir photo en date du 08 mai 2010 en annexe 9.

⁴³ Voir Tableau 11 en annexe 26 pour les résultats du test de Friedman.

Afin de déterminer où se situent les différences de colonisation *post-mortem* entre les trois carcasses, le test de Wilcoxon a été appliqué aux six mêmes familles ainsi qu'aux larves de Coléoptères⁴⁴. Ce test montre l'existence d'une différence de colonisation des larves de Coléoptères, au cours du temps, entre le cochon témoin et le cochon « drogué » avec de la cocaïne ($Z = 2,60$; $p = 0,009345$) ainsi qu'une différence de colonisation des Silphidae, au cours du temps, entre le cochon « drogué » avec du pentobarbital et le cochon « drogué » avec de la cocaïne ($Z = 2,92$; $p = 0,003445$).

Les Silphidae sont divisé en trois sous-familles que sont les Agyrtinae dont aucun représentant n'a été récolté, les Nicrophorinae et les Silphinae (Wyss et Cherix, 2006). Il est intéressant de savoir si une différence de colonisation, au cours du temps, existe entre les trois porcs pour les deux sous-familles récoltées. Selon le test de Friedman ($\alpha = 0,05$), les effectifs des Nicrophorinae et ceux des Silphinae diffèrent entre les trois carcasses au cours du temps (Nicrophorinae : $\text{Chi}^2 (N = 17, \text{dl} = 2) = 13,61404$; $p = 0,00111$ et Silphinae : $\text{Chi}^2 (N = 17, \text{dl} = 2) = 16,28571$; $p = 0,00029$). Le test de Wilcoxon montre l'existence d'une différence de colonisation des Nicrophorinae, au cours du temps, entre le cochon témoin et le cochon « drogué » avec du pentobarbital ($Z = 2,67$; $p = 0,007631$) et entre le cochon témoin et le cochon « drogué » avec de la cocaïne ($Z = 3,08$; $p = 0,002098$) ainsi qu'une différence de colonisation des Silphinae, au cours du temps, entre le cochon « drogué » avec du pentobarbital et le cochon « drogué » avec de la cocaïne ($Z = 3,62$; $p = 0,000293$).

⁴⁴ Voir Tableau 12 en annexe 27 pour les résultats du test de Wilcoxon.

6.2.4.3 Les espèces de Silphidae

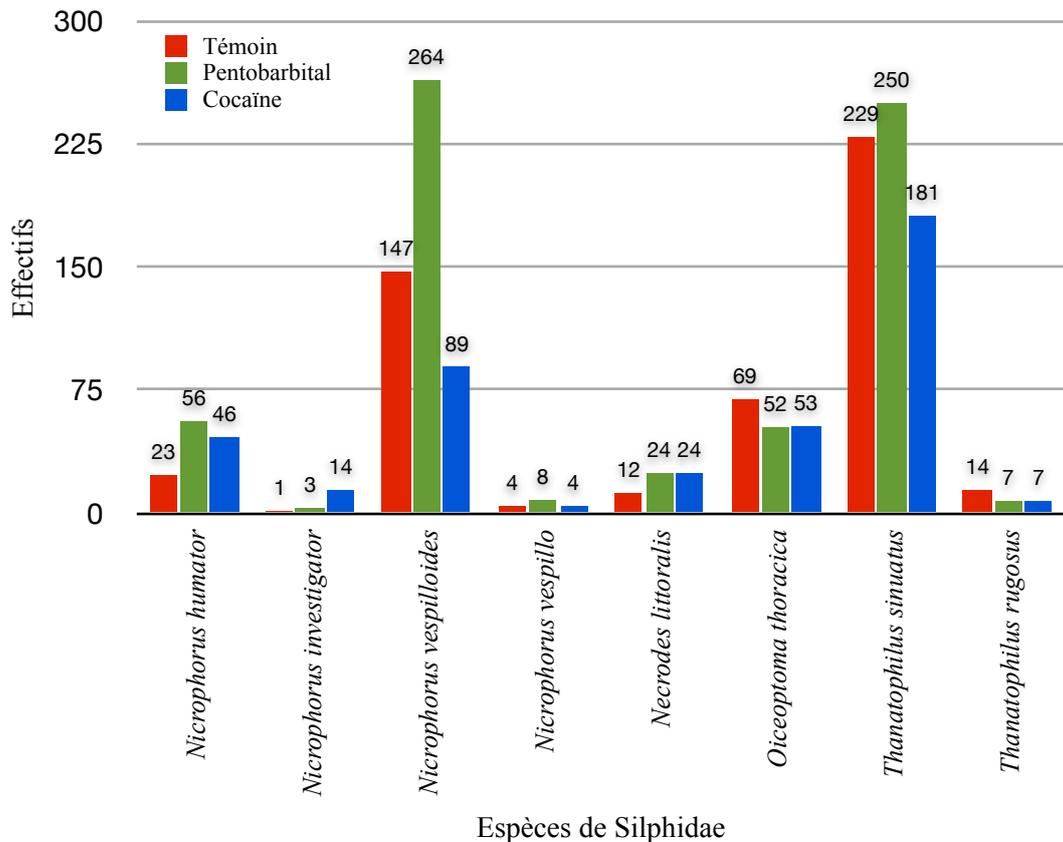


Figure 37 : Effectifs des espèces de Silphidae présentes sur les trois carcasses de porc.

La Figure 16 montre une forte colonisation des trois carcasses de porc par *Thanatophilus sinuatus* et par *Nicrophorus vespilloides*. Il est à noter que les effectifs de ces deux espèces sont maximums sur le porc « drogué » avec du pentobarbital et sont les plus faibles sur le porc « drogué » avec de la cocaïne. La colonisation des trois carcasses par *Nicrophorus humator* et *Oiceoptoma thoracica* peut être qualifiée d'intermédiaire. Les effectifs d'*O. thoracica* sont semblables sur les trois porcs alors que ceux de *N. humator* sont plus faibles sur le porc témoin que sur les porcs « drogués ». La colonisation des trois carcasses par *Nicrophorus investigator*, *Nicrophorus vespillo*, *Thanatophilus rugosus* et *Necrodes littoralis* est considérée comme faible. Cependant, les effectifs de *Necrodes littoralis* sont plus importants que ceux des trois autres. Cette dernière espèce peut être intéressante dans la détermination des IPMs car elle a été uniquement retrouvée durant le stade « *Bloating* » alors que les sept autres espèces récoltées de Silphidae se retrouvent durant les stades « *Bloating* », « *Active decay* » et « *Advanced decay* ». Il est à noter qu'aucune espèce de Silphidae n'a été récoltée durant le stade « *Fresh* ». Ceci s'explique par le fait que les Silphidae sont une famille de nécrophiles et qu'ils n'arriveront sur les carcasses qu'à partir du stade « *Bloating* » afin de se nourrir des oeufs et larves des espèces nécrophages.

7. Conclusions et perspectives

Dans cette expérimentation, la première différence qui a été observée, entre les trois carcasses de porc en décomposition, est un décalage dans de la durée des stades de décomposition. Le stade « *Active decay* », caractérisé par la migration des larves en vue de leur pupaison, est plus long chez le porc témoin par rapport aux porcs « drogués ». Ceci implique donc que les larves se sont développées plus vite sur les porcs « drogués ». La présence de pentobarbital ou de cocaïne pourrait donc avoir influencé la croissance des larves. Cette influence serait donc à prendre en considération dans le calcul des IPMs.

En ce qui concerne l'entomofaune nécrophage, on note une colonisation *post-mortem* ayant un profil identique entre les trois carcasses et en accord avec les suivis *post-mortem* d'autres études se situant dans le même biotope. Les espèces nécrophages, principalement des espèces de la famille des Calliphoridae, commencent à pondre sur les carcasses dès le stade « *Fresh* ». Les effectifs des espèces nécrophages (principalement des Calliphoridae) et nécrophiles (principalement des Silphidae) augmentent ainsi que les pontes et larves de Diptères durant le stade « *Bloating* ». Durant le stade « *Active decay* », les espèces nécrophiles (principalement des Histeridae, des Staphylinidae et des larves de Coléoptères) sont les plus importantes et ceci est à mettre en relation avec l'importante présence de larves des espèces nécrophages sur les carcasses en décomposition. On note une diminution des effectifs des espèces nécrophiles et nécrophages durant le stade « *Advanced decay* ». En effet, ce stade est caractérisé par des carcasses constituées d'os et de lambeaux de peau et par l'absence de larves sur ces dernières. Cependant, on note tout de même une présence importante de Coléoptères de la famille des Staphylinidae et de Diptères de la famille des Piophilidae et des Sphaeroceridae. Les tests statistiques montrent une différence de colonisation au cours du temps entre les trois carcasses pour les Diptères des familles de Piophilidae et Sphaeroceridae, malheureusement encore peu connues, ainsi que pour les larves de Coléoptères et la famille des Silphidae.

Dans le cas particulier des Calliphoridae, on note une colonisation importante par *Calliphora vomitoria*, *Calliphora vicina* et *Lucilia* groupe *caesar* et ce, principalement durant les stades « *Fresh* » et « *Bloating* ». En effet, c'est durant ces deux stades que les Diptères pondent sur les carcasses en décomposition et, de plus, ces trois espèces de Calliphoridae sont les plus courantes dans nos régions.

Dans le cas particulier des Silphidae, on note une forte prédominance de *Nicrophorus vespilloides* et de *Thanatophilus sinuatus*, principalement, durant les stades « *Bloating* » et « *Active decay* ». Ces deux espèces sont des espèces très courantes, sur des cadavres, dans les forêts de nos régions.

Etant donné que des larves ont été prélevées (et congelées, le jour même, à - 80°C) à chaque visite sur les trois carcasses, des études ultérieures sur le taux de développement de ces larves pourront être faites. Il sera également possible d'entreprendre une étude sur la quantification des drogues présentes dans les larves et même, une étude sur la métabolisation des ces drogues par les larves. En effet, les larves se nourrissent sur des carcasses « droguées » en décomposition et ce, sans subir une mortalité importante.

Il sera également intéressant de poursuivre les déterminations des Diptères, des Coléoptères et des Hyménoptères jusqu'à l'espèce. En effet, des différences de colonisation entre les carcasses ont été mises en évidence et il serait intéressant de savoir si une espèce, en particulier, est responsable de ces différences. De plus, certaines familles, comme les Staphylinidae, se retrouvent avec des effectifs importants en fin de décomposition et ce, sans explication apparente. Une identification jusqu'à l'espèce nous permettrait peut être d'expliquer cette présence.

Les Silphidae sont la seule famille de Coléoptères dont la colonisation entre les trois carcasses est différente. Des études sur la biologie des Silphidae permettraient de mieux utiliser les données récoltées sur cette famille. De plus, des spécimens de *Nicrodes littoralis* ont été uniquement retrouvés durant le stade « *Active decay* » sur les trois carcasses et ceci reste inexplicé. Une connaissance approfondie de la biologie de cette espèce nous permettrait, peut être, d'apprécier son rôle éventuel dans une meilleur estimation des IPMs.

Références bibliographiques

AGRISENSE. 2009. <http://www.agrisense.co.uk/>[Online].

ALDRICH, J. M. 1916. Sarcophaga and allies in North America.

AMENDT, J., CAMPOBASSO, C. P., GOFF, M. L. & GRASSBERGER, M. 2010. *Current Concepts in Forensic Entomology*. London, New-York : Springer.

AMENDT, J., KRETTEK, R., NIESS, C., ZEHNER, R. & BRATZKE, H. 2000. Forensic entomology in Germany. *Forensic Science International*, 113, 309-314.

AMENDT, J., KRETTEK, R. & ZEHNER, R. 2004. Forensic entomology. *Naturwissenschaften*, 91, 51-65.

AMERICAN ASSOCIATION OF SWINE VETERINARIANS (AASV). 2008. On Farm Euthanasia of Swine - Recommendations for the Producer.

ANDERSON, G. S. & VANLAERHOVEN, S. L. 1996. Initial studies on insect succession on carrion in southwestern British Columbia. *Journal of Forensic Sciences*, 41, 617-625.

ARNALDOS, M. I., GARCIA, M. D., ROMERA, E., PRESA, J. J. & LUNA, A. 2005. Estimation of postmortem interval in real cases based on experimentally obtained entomological evidence. *Forensic Science International*, 149, 57-65.

AUTUNNO, V. 2010. Etude du cycle biologique de *Thanatophilus sinuatus* et de *Necrodes littoralis* en élevage contrôlé. *Mémoire de fin d'études*, La Reid.

BANQUE D'INFORMATION AUTOMATISEE SUR LES MEDICAMENTS (BIAM). 2010. <http://www.biam2.org/>[Online].

BEAUTHIER, J. 2007. Traité de médecine légale. Paris : De Boek Université.

BENECKE, M. 2001. A brief history of forensic entomology. *Forensic Science International*, 120, 2-14.

BENECKE, M. 2004. Arthropods and corpses. *Forensic Pathology Reviews*, Vol 1. Totowa: Humana Press Inc.

BENECKE, M. 2007. Arthropods and corpses. *Forensic Pathology Reviews*, Vol 2. Totowa: Humana Press Inc.

BOURBONNAIS, G. 2010a. Anatomie générale des insectes.

BOURBONNAIS, G. 2010b. Cours sur les diptères du Cégep de Sainte Foy.

- BOUREL, B., CALLET, B., HEDOUIN, V. & GOSSET, D. 2003. Flies eggs: a new method for the estimation of short-term post-mortem interval? *Forensic Science International*, 135, 27-34.
- BOUREL, B., TOURNEL, G., HEDOUIN, V., DEVEAUX, M., GOFF, M. L. & GOSSET, D. 2001a. Morphine extraction in necrophagous insects remains for determining ante-mortem opiate intoxication. *Forensic Science International*, 120, 127-131.
- BOUREL, B., TOURNEL, G., HEDOUIN, V., GOFF, M. L. & GOSSET, D. 2001b. Determination of drug levels in two species of necrophagous coleoptera reared on substrates containing morphine. *Journal of Forensic Sciences*, 46, 600-603.
- BOXHO, P. 2009 - 2010. Médecine légale (1ère partie). Liège : Les éditions de l'Université de Liège.
- BYRD, J. & CASTNER, J. 2009. *The Utility of Arthropods In Legal Investigation*. New York : CRC Press.
- CAMPOBASSO, C. P., DI VELLA, G. & INTRONA, F. 2001. Factors affecting decomposition and Diptera colonization. *Forensic Science International*, 120, 18-27.
- CAMPOBASSO, C. P., GHERARDI, M., CALIGARA, M., SIRONI, L. & INTRONA, F. 2004. Drug analysis in blowfly larvae and in human tissues: a comparative study. *International Journal of Legal Medicine*, 118, 210-214.
- CAMPOBASSO, C. P. & INTRONA, F. 2001. The forensic entomologist in the context of the forensic pathologist's role. *Forensic Science International*, 120, 132-139.
- CAPINERA, J. L. 2008. *Encyclopedia of Entomology*. London, New York : Springer.
- CARTER, D. O., YELLOWLEES, D. & TIBBETT, M. 2007. Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften*, 94, 12-24.
- CATTS, E. P. & GOFF, M. L. 1992. Forensic Entomology In Criminal Investigation. *Annual Review of Entomology*, 37, 253-272.
- CATTS, E. P. & HASKELL, N. H. 1990. *Entomology and Death : A Procedural Guide*.
- CHANDLER, P. J. 1974. Dung flies and their allies in Ireland (Diptera, Scatophagidae). *The Irish Naturalist's Journal*.
- CHARRIER, S. 2002. Clé de détermination des Coléoptères Lucanides et Scarabéides de Vendée et de l'Ouest de la France. *Le naturaliste vendéen*.
- CHATENET, G. 1986. *Guide des Coléoptères d'Europe*. Paris : Delachaux & Niestle.
- CHEN, C., CHEN, C. & SHIH, C. 2003. The study of necrophagous insect fauna using pig carrion. *Formosan Entomologist*, 23, 71-81.

CHEVILLON, P., MIRCOVICH, C., DUBROCA, S. & JEAN-YVES, F. 2004. Euthanasie en élevage de porc. *Techni-porc*.

CHINERY, M. 1976. *Les insectes d'Europe en couleurs*, Paris-Bruxelles : Elsevier.

CHINERY, M. 2005. *Insectes de France et d'Europe occidentale*, Paris : Flammarion.

CLEVELAND MUSEUM OF NATURAL HISTORY (CMNH). 2009-2010. <http://www.cmnh.org/> [Online].

CLOSE, B., BANISTER, K., BAUMANS, V., BERNOTH, E. M., BROMAGE, N., BUNYAN, J., ERHARDT, W., FLECKNELL, P., GREGORY, N., HACKBARTH, H., MORTON, D. & WARWICK, C. 1996. *Recommendations for euthanasia of experimental animals : Part 2. Laboratory Animals*, 30, 293-316.

DE BACKER, B. 2008. Cocaïne : Détermination du délai entre le prélèvement et la consommation.

DEFINIS-GOJANOVIC, M., SUTLOVIC, D., BRITVIC, D. & KOKAN, B. 2007. Drug analysis in necrophagous flies and human tissues. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 58, 313-316.

DEKEIRSSCHIETER, J. 2006-2007. Etude des odeurs émises par des carcasses de porc (*Sus domesticus L.*) en décomposition et suivi de la colonisation postmortem par les insectes nécrophages.

DIX, J. 2001. Time of Death. *Time of Death, Decomposition and Identification: An Atlas*. New York : CRC Press.

ELEPHANTCARE. 2006. <http://www.elephantcare.org/>[Online].

EUROPEAN MONITORING CENTRE FOR DRUGS AND DRUG ADDICTION (EMCDDA). 2009-2010. <http://www.emcdda.europa.eu/> [Online]. [Accessed].

FLIKR 2009. <http://www.flickr.com/groups/animal-taxonomy/>[Online].

GABLE, R. S. 2004. Comparison of acute lethal toxicity of commonly abused psychoactive substances. *Addiction*, 99, 686-696.

GAGLIANO-CANDELA, R. & AVENTAGGIATO, L. 2001. The detection of toxic substances in entomological specimens. *International Journal of Legal Medicine*, 114, 197-203.

GALLOWAY, A. 1997. The process of Decomposition : A Model from the Arizona-Sonoran Desert. *Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains*. New York : CRC Press.

GENNARD, D. E. 2007. *Forensic entomology : an introduction*. Chichester : Wiley.

GEORGE, K. A., ARCHER, M. S., GREEN, L. M., CONLAN, X. A. & TOOP, T. 2009. Effect of morphine on the growth rate of *Calliphora stygia* (Fabricius) (Diptera: Calliphoridae) and possible implications for forensic entomology. *Forensic Science International*, 193, 21-25.

- GOFF, M. L. 2009. Early post-mortem changes and stages of decomposition in exposed cadavers. *Experimental and Applied Acarology*, 49, 21-36.
- GOFF, M. L., BROWN, W. A., HEWADIKARAM, K. A. & OMORI, A. I. 1991. Effect Of Heroin In Decomposing Tissues On The Development Rate Of *Boettcherisca peregrina* (Diptera, Sarcophagidae) And Implications Of This Effect On Estimation Of Postmortem Intervals Using Arthropod Development Patterns. *Journal of Forensic Sciences*, 36, 537-542.
- GOFF, M. L., OMORI, A. I. & GOODBROD, J. R. 1989. Effect Of Cocaine In Tissues On The Development rate of *Boettcherisca pergrina* (Diptera, Sarcophagidae). *Journal of Medical Entomology*, 26, 91-93.
- GREENBERG, B. & KUNICH, J. 2002. *Entomology and the Law : Flies as Forensic Indicators*.
- GUNATILAKE, K. & GOFF, M. L. 1989. Detection Of Organo-Phosphate Poisoning In a Putrefying Body by Analysing Arthropod larvae. *Journal of Forensic Sciences*, 34, 714-716.
- GUNN, A. 2009. *Essential Forensic Biology*. Chichester : Wiley.
- HALL, D. G. 1948. *The Blowflies of North America*, Thomas Say Foundation.
- HART, A. J. & WHITAKER, A. P. 2005. Forensic Entomolgy. *Antenna*, 30, 159 - 164.
- HASKELL, N. H., HALL, R. D., CERVENKA, V. J. & CLARK, M. A. 1997. On the body : Insect's Life Stage Presence and Their Postmortem Artifacts. *Forensic Taphonomy. The Postmortem Fate of Human Remains*. New York : CRC Press.
- HASTIR, P. & GASPAR, C. 2001. Diagnose d'une famille de fossoyeur : les Silphidae. *Notes fauniques de Gembloux*.
- HAUBRUGE, E. 2007 - 2008. Clé des principaux Ordres et Familles d'Insectes. Première Bachelier.
- HAUPT, J. A. H. 2002. *Guide des mouches et des moustiques*. Paris : Delachaux et Niestlé.
- HEDOUIN, V., BOUREL, B., BECART, A., TOURNEL, G., DEVEAUX, M., GOFF, M. L. & GOSSET, D. 2001. Determination of drug levels in larvae of *Protophormia terraenovae* and *Calliphora vicina* (Diptera : Calliphoridae) reared on rabbit carcasses containing morphine. *Journal of Forensic Sciences*, 46, 12-14.
- HORENSTEIN, M. B., LINHARES, A. X., DE FERRADAS, B. R. & GARCIA, D. 2010. Decomposition and dipteran succession in pig carrion in central Argentina: ecological aspects and their importance in forensic science. *Medical and Veterinary Entomology*, 24, 16-25.
- IBERICA, F. 2010. <http://www.fauna-iberica.mncn.csic.es/>[Online].
- INTRONA, F., CAMPOBASSO, C. P. & GOFF, M. L. 2001. Entomototoxicology. *Forensic Science International*, 120, 42-47.

- KHARBOUCHE, H., AUGSBURGER, M., CHERIX, D., SPORKERT, F., GIROUD, C., WYSS, C., CHAMPOD, C. & MANGIN, P. 2008. Codeine accumulation and elimination in larvae, pupae, and imago of the blowfly *Lucilia sericata* and effects on its development. *International Journal of Legal Medicine*, 122, 205-211.
- KINTZ, P., TRACQUI, A., LUDES, B., WALLER, J., BOUKHABZA, A., MANGIN, P., LUGNIER, A. A. & CHAUMONT, A. J. 1990. FLY LARVAE AND THEIR RELEVANCE IN FORENSIC TOXICOLOGY. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 11, 63-65.
- KINTZ, P., TRACQUI, A. & MANGIN, P. 1994. Analysis Of Opiates In Fly Larvae Sampled On A Putrefied Cadaver. *Journal of the Forensic Science Society*, 34, 95-97.
- KNIPLING, E. F. 1936. A comparative study of the first instar larvae of the genus *Sarcophaga* (Calliphoridae, Diptera), with notes on the biology.
- KOCAREK, P. 2003. Decomposition and coleoptera succession on exposed carrion of small mammal in Opava, the Czech Republic. *European Journal of Soil Biology*, 39, 31-45.
- LECLERCQ, M. 1996. On the entomofauna of a wild boar carcass. *Bulletin et Annales de la Société Royale Belge d'Entomologie*, 132, 417-422.
- LECLERCQ, M. & BRAHY, G. 1985. Entomology and forensic medicine: determination of time of death. *Journal de Médecine Légale - Droit Medical*, 28, 271-278.
- MARCHENKO, M. I. Year. The use of temperature parameters of fly growth in medico-legal practice. General trends. In: *Medical and veterinary dipterology*. Proceedings of the International Conference, November 30-December 4, 1987, Ceske Budejovice, Czechoslovakia., 1988.
- MARCHENKO, M. I. 2001. Medicolegal relevance of cadaver entomofauna for the determination of the time of death. *Forensic Science International*, 120, 89-109.
- MARTINEZ, E., DUQUE, P. & WOLFF, M. 2007. Succession pattern of carrion-feeding insects in Paramo, Colombia. *Forensic Science International*, 166, 182-189.
- MATUSZEWSKI, S., BAJERLEIN, D., KONWERSKI, S. & SZPILA, K. 2008. An initial study of insect succession and carrion decomposition in various forest habitats of Central Europe. *Forensic Science International*, 180, 61-69.
- MATUSZEWSKI, S., BAJERLEIN, D., KONWERSKI, S. & SZPILA, K. 2010. Insect succession and carrion decomposition in selected forests of Central Europe. Part 2: Composition and residency patterns of carrion fauna. *Forensic Science International*, 195, 42-51.
- MEGNIN, P. 1894. *La Faune des Cadavres : Application de l'entomologie à la médecine légale*.
- NIEDEREGGER, S., PASTUSCHEK, J. & MALL, G. 2010. Preliminary studies of the influence of fluctuating temperatures on the development of various forensically relevant flies. *Forensic Science International*, 199, 72-78.

NUORTEVA PEKKA & SIRKKA-LIISA, N. 1982. The Fate of Mercury in Sarcosaprophagous Flies and In Insectes Eating Them. *Ambio*, 11, 34 - 37.

O'BRIEN, C. & TURNER, B. 2004. Impact of paracetamol on *Calliphora vicina* larval development. *International Journal of Legal Medicine*, 118, 188-189.

ONLINE, M. 2010. <http://www.medicineonline.com> [Online].

ONSET 2010. <http://www.onsetcomp.com/>[Online].

OZDEMIR, S. & SERT, O. 2009. Determination of Coleoptera fauna on carcasses in Ankara province, Turkey. *Forensic Science International*, 183, 24-32.

PATRICAN, L. A. & VAIDYANATHAN, R. 1995. Arthropod succession in rats euthanized with carbon dioxide and sodium pentobarbital. *Journal of the New York Entomological Society*, 103, 197-207.

PHARMACOPA. 2010. <http://www.pharmacopa.com/>[Online].

PHARMACORAMA. 2010. <http://www.pharmacorama.com/>[Online].

PINHEIRO, J. 2006. *Decay process of a cadaver*, Totowa : Humana Press Inc.

POUNDER, D. J. 1991. Forensic Entomo-toxicology. *Journal of the Forensic Science Society*, 31, 469-472.

PUTMAN, R. J. 1983. *Carrion and dung: the decomposition of animal wastes*, London UK : Edward Arnold.

REICHL, F.-X. 2004. *Guide pratique de toxicologie*. Paris : De Boeck.

REVERSO : DICTIONNAIRE EN LIGNE. 2010. <http://dictionnaire.reverso.net/medical-francais-anglais/>[Online].

ROHACA EK, J. I., MARSHALL, S. A., NORRBOM, A. L., BUCK, M., QUIROS, D. I. & SMITH, I. 2001. *World Catalog of Sphaeroceridae (Diptera)*. Opava : Slezské zemské muzeum.

RXLIST. 2008. <http://www.rxlist.com/script/main/hp.asp> [Online].

SABANOGLU, B. & SERT, O. 2010. Determination of Calliphoridae (Diptera) Fauna and Seasonal Distribution on Carrion in Ankara Province. *Journal of Forensic Sciences*, 55, 1003-1007.

SADLER, D. W., FUKU, C., COURT, F. & POUNDER, D. J. 1995. Drug Accumulation And Elimination In *Calliphora vicina* Larvae. *Forensic Science International*, 71, 191-197.

SCUVEE-MOREAU, J. 2009-2010. *Introduction aux toxicomanies*. Liège : Les Editions de l'Université de Liège.

- SEGURA, N. A., USAQUEN, W., SANCHEZ, M. C., CHUAIRE, L. & BELLO, F. 2009. Succession pattern of cadaverous entomofauna in a semi-rural area of Bogota, Colombia. *Forensic Science International*, 187, 66-72.
- SHKRUM, J., M., RAMSAY & A., D. 2007. *Forensic Pathology of Trauma : Common Problems for the Pathologist*. Totowa : Humana Press.
- SWIFT, B. 2006. *The Timing of Death. Essentials of Autopsy practice*. New York : Springer.
- SZPILA, K. 2010a. Key for identification of European and Mediterranean blowflies (Diptera, Calliphoridae) of forensic importance Adult flies.
- SZPILA, K. 2010b. Key to families of the European Diptera of forensic importance.
- THIRY, M. 2005. *Introduction à la biologie cellulaire*. Liège : Les Editions de l'Université de Liège.
- TRACQUI, A., KEYSER-TRACQUI, C., KINTZ, P. & LUDES, B. 2004. Entomotoxicology for the forensic toxicologist: much ado about nothing? *International Journal of Legal Medicine*, 118, 194-196.
- TURNER, B. 2009. Forensic entomology: a template for forensic acarology? *Experimental and Applied Acarology*, 49, 15-20.
- VASS, A. A., BASS, W. M., WOLT, J. D., FOSS, J. E. & AMMONS, J. T. 1992. Time Since Death Determination Of Human Cadavers Using Soil Solution. *Journal of Forensic Sciences*, 37, 1236-1253.
- WANG, J. F., LI, Z. G., CHEN, Y. C., CHEN, Q. S. & YIN, X. H. 2008. The succession and development of insects on pig carcasses and their significances in estimating PMI in south China. *Forensic Science International*, 179, 11-18.
- WOLFF, M., URIBE, A., ORTIZ, A. & DUQUE, P. 2001. A preliminary study of forensic entomology in Medellin, Colombia. *Forensic Science International*, 120, 53-59.
- WYMAN, J., DEAN, D., YINGER, R., SIMMONS, A., BROBST, D., BISSEL, M., SILVERIA, F., SHOTT, R., OHR, J., TATAREK, N. & LEWIS, B. 2010. The Temporal Fate of Drugs in Decomposing Porcine Tissue. *Journal of Forensic Sciences*, 56.
- WYSS, C. & CHERIX, D. 2006. *Traité d'Entomologie Forensique : les insectes sur la scène du crime*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.

Annexes

Annexe 1

Voici la formule permettant de calculer le moment du décès en fonction de la diminution de la température corporelle : Le moment du décès = $37\text{ °C} - \text{Température rectale (°C)} * Z$.

Z étant un facteur variable, dépendant de la température (Beauthier, 2007). Son expression est la suivante :

Tableau 1 : Facteur Z en fonction de la température ambiante (Boxho, 2009).

Température Ambiante	0°	5°	10°	15°	20°
Facteur Z	1	1,25	1,5	1,75	2

Le premier problème est que l'on fixe une température de base dite « normale » de 37 °C (Dix, 2001). Cependant, il est courant qu'une personne ait plus ou moins une température corporelle de 37 °C (Boxho, 2009). La température corporelle de base peut varier en fonction du site de prise de la température (rectum, cerveau, foie...), en fonction de l'individu et de sa santé, de la période de la journée et de l'activité physique du sujet avant la mort (Dix, 2001). En plus des problèmes liés à la température de base du corps, il y'a les problèmes liés à l'environnement. Voici un tableau permettant de corriger le poids de l'individu en fonction de divers facteurs (Boxho, 2009).

Tableau 2 : Facteurs correctifs empiriques du poids corporel (Boxho, 2009).

<u>Vêtements et recouv. sec</u>	<u>Dans l'air</u>	<u>Facteurs correctifs</u>	<u>Vêtements et recouv. humides, surf. corp. humide</u>	<u>Dans l'air Dans l'eau</u>
		0,35	Nu	Courante
		0,5	Nu	Stagnante
		0,7	Nu	En mouvement
		0,7	1 à 2 fines couches	En mouvement
Nu	En mouvement	0,75	1 à 2 fines couches	En mouvement
1 à 2 fines couches	En mouvement	0,9	2 ou + couches épaisses	En mouvement
Nu	Calme	1,0		
1 à 2 fines couches	Calme	1,1	2 ou + couches épaisses	Calme
1 à 2 couches plus épaisses	En mouvement	1,2		
3 à 4 fines couches	Calme	1,3		
+ couches fines/ épaisses		1,4		
Couvre lit épais		1,8		
Avec vêt. Combinés		2,4		

Annexe 2

Tableau 3 : Noms complets des familles de Coléoptères et de Diptères (Flikr, 2009 ; Fauna Iberica, 2010)

Coleoptera Linnaeus, 1758	Diptera Linnaeus, 1758
Adephaga Schellenberg 1806	Nematocera Latreille, 1825
Aphodiidae Leach 1815	Tipulidae Latreille, 1802
Buprestidae Leach, 1815	Trichoceridae Kertesa, 1902
Polyphaga Emery, 1886	Sciaridae, Billberg 1820
Cantharidae Imhoff, 1856	Brachycera Macquart, 1834
Carabidae Latreille, 1802	Cyclorrhapha Brauer, 1863
Cicindelidae Latreille 1802	Anthomyiidae Latreille, 1829
Cleridae Latreille 1802	Calliphoridae Hough, 1899
Coccinellidae Latreille, 1807	Coelopidae Hendel, 1910
Curculionidae Latreille, 1802	Drosophilidae Loew, 1862
Dermestidae Latreille, 1804	Dryomyzidae Schiner, 1862
Elateridae Leach 1815	Ephydriidae Zetterstedt, 1837
Geotrupidae Latreille, 1802	Fanniidae Schnabl, 1911
Histeridae Gyllenhaal, 1808	Heleomyzidae Westwood, 1840
Hydrophilidae Latreille, 1802	Lauxaniidae Macquart, 1835
Lagriidae Latreille, 1825	Muscidae Latreille, 1802
Lucanidae Latreille, 1804	Phoridae Curtis, 1833
Nitidulidae Latreille, 1802	Piophilidae Macquart, 1835
Rutelidae Latreille 1802	Sarcophagidae Halidae, 1853
Scarabaeidae Latreille, 1802	Scatophagidae Robineau-Desvoidy, 1830
Silphidae Latreille, 1807	Sphaeroceridae Macquart, 1835
Staphylinidae Latreille, 1802	Stratomyidae Latreille, 1804
Trogidae MacLeay, 1819	Syrphidae Latreille, 1802

Tableau 4 : Noms complets des espèces de Silphidae (Flikr, 2009 ; Fauna Iberica, 2010).

Famille		Silphidae Latreille, 1807
Sous-famille	Nicrophorinae Kirby, 1837	Silphinae Latreille, 1807
Genre	<i>Nicrophorus</i> Fabricius, 1775	<i>Oiceoptoma</i> Leach, 1815
		<i>Silpha</i> Linnaeus, 1758
		<i>Thanatophilus</i> Leach, 1815
		<i>Necrodes</i> Leach, 1815
Espèce	<i>Nicrophorus humator</i> Gleditsch, 1767	<i>Necrodes littoralis</i> Linnaeus, 1758
	<i>Nicrophorus investigator</i> Zetterstedt, 1824	<i>Thanatophilus rugosus</i> Linnaeus, 1758
	<i>Nicrophorus vespillo</i> Linnaeus, 1758	<i>Thanatophilus sinuatus</i> Fabricius, 1775
	<i>Nicrophorus vespilloides</i> Herbst, 1783	<i>Oiceoptoma thoracicum</i> Linnaeus, 1758

Tableau 5 : Noms complets des espèces de Calliphoridae (Flikr, 2009 ; Fauna Iberica, 2010).

Famille		Calliphoridae Hough, 1899
Sous-famille	Luciliinae (?)	Calliphorinae (?)
Genre	<i>Lucilia</i> Robineau - Desvoidy, 1830	<i>Calliphora</i> Robineau - Desvoidy, 1830
		<i>Cynomia</i> Robineau - Desvoidy, 1830
Espèce	<i>Lucilia</i> groupe <i>caesar</i> = <i>Lucilia caesar</i> Linnaeus, 1758 et <i>Lucilia illustris</i> Meigen, 1826	<i>Calliphora vicina</i> Robineau - Desvoidy, 1830
	<i>Lucilia ampullacea</i> Villeneuve, 1922	<i>Calliphora vomitoria</i> Linnaeus, 1758 <i>Cynomia mortuorum</i> Linnaeus, 1758

Annexe 3



Figure 1 : Stade initial ou stade « *fresh* » (Caparros, 2010).

Annexe 4

Ce phénomène se produit au niveau des cellules musculaires du corps. En effet, après la mort, les membranes cellulaires et celles du sarcoplasme deviennent plus perméables. Le calcium peut donc passer à travers ces membranes et venir se fixer sur la troponine¹. Tant qu'une molécule d'adénosine tri-phosphates ne viendra pas se fixer sur la tête de la myosine, les deux types de filaments resteront liés. Après un certain laps de temps, il ne produit plus d'ATP que par le phénomène de fermentation lactique (celle-ci permet la production d'ATP lorsqu'il n'y a plus de dioxygène qui arrive aux cellules mais produit également de l'acide lactique). Le manque d'ATP et l'augmentation de la concentration en acide lactique permettent l'apparition des rigidités cadavériques (Gunn 2006 ; Plumier, 2006 et Swift, 2006 ; Boxho 2009).

¹ Protéine régulatrice permettant le lien entre les filaments d'actines et de myosines dans la contraction musculaire

Annexe 5

1. *Calliphoridae* ou *Blow flies* : Elles ont une taille allant de moyenne à grande variant de 4 à 16 mm (Wyss et Cherix, 2006). Elles sont habituellement bleues métalliques (*Calliphora sp*) ou vertes métalliques (*Lucilla sp*). Il existe un dimorphisme sexuel chez les adultes au niveau des yeux : les yeux des mâles se touchent presque alors que ceux des femelles sont très éloignés (Wyss et Cherix, 2006). Elles sont classiquement les premières à être attirées par un cadavre, dès le décès de la victime et même lors de son agonie (Amendt *et al.*, 2004). Elles sont d'abord attirées par le sang frais ou coagulé et l'odeur de la décomposition puis elles pondent leurs oeufs, même au niveau des vêtements. Elles se dirigent pour pondre vers les orifices naturels tels que les yeux, la bouche et le nez ou les orifices uro-génitaux (si la personne est dénudée) car les premières larves (L1) sont incapables de percer la peau immédiatement après leur éclosion (Amendt *et al.*, 2004 ; Wyss et Cherix, 2006 et Capinera, 2008). La grande majorité des espèces sont ovipares mais quelques unes sont larvipares, c'est à dire que la femelle « pond » des larves (Wyss et Cherix, 2006). Les larves sont principalement nécrophages, coprophages et saprophages (Wyss et Cherix, 2006).
2. *Sarcophagidae* ou *Flesh flies* : ce sont des diptères de 2 à 22 mm de longueur (Wyss et Cherix, 2006 ; Capinera, 2008). Elles sont généralement noires et grises et sans coloration métallique. De plus, elles présentent des bandes longitudinales sur le thorax et un dessin abdominal en mosaïque (Haupt, 2000). Il est à noter qu'il n'existe habituellement pas de dimorphisme sexuel au niveau des yeux dans cette famille (Wyss et Cherix, 2006). Les femelles sont caractérisées par le fait qu'elles sont habituellement vivipares et que seulement quelques espèces sont ovipares (Wyss et Cherix, 2006). Les larves se nourrissent essentiellement de matière en décomposition. Ces dernières sont souvent dévorées par les larves et adultes de coléoptères nécrophiles (Wyss et Cherix, 2006 ; Capinera, 2008). Il semble que même si ces mouches sont moins nombreuses sur un cadavre que les *Calliphoridae*, elles peuvent coloniser aussi bien des cadavres à l'intérieur qu'à l'extérieur des habitations, dans des milieux secs ou humides, à l'ombre ou au soleil (Wyss et Cherix, 2006). Cependant, on peut les rencontrer aussi bien au début des processus de décomposition que beaucoup plus tard (Wyss et Cherix, 2006).
3. *Muscidae* ou *Muscid flies* : c'est une famille comprenant un grand nombre d'espèce de Diptères comme, par exemple, l'espèce de la mouche domestique (*Musca domestica*). Il y'a plus ou moins 4.000 espèces décrites dans le monde et une centaine de genres (Wyss et Cherix, 2006). Ce sont des mouches de couleurs foncées ayant une taille allant de 2 à 18 mm (Wyss et Cherix,

2006). Il existe un certain nombre d'espèces avec dimorphisme sexuel au niveau des yeux (Wyss et Cherix, 2006). Elles arrivent dans les premières heures dans le processus de colonisation des cadavres (Wyss et Cherix, 2006 ; Capinera, 2008).

4. *Fanniidae* ou *Small House Flies* : c'est une petite famille contenant plus ou moins 300 espèces et quatre genres. Les adultes ont une petite taille (de 4 à 9 mm) et ont souvent le corps noir avec les pattes colorées (Wyss et Cherix, 2006 ; Capinera, 2008). Il existe un dimorphisme sexuel chez les adultes au niveau des yeux : les yeux des mâles se touchent presque alors que ceux des femelles sont très éloignés (Wyss et Cherix, 2006). Les *Fanniidae* fréquentent de préférence les régions boisées et sont plus rares en milieu ouvert (Wyss et Cherix, 2006). Certaines espèces sont présentes sur les cadavres mais ne présentent pas encore un grand intérêt en entomologie forensique (Wyss et Cherix, 2006).
5. *Piophilidae* ou *Skipper flies* : ce sont des diptères de petites tailles (2,5 à 6 mm de longueur) et de couleur assez sombre (Wyss et Cherix, 2006). Cette famille se compose de plus ou moins 75 espèces (Wyss et Cherix, 2006). Les yeux ont pour caractéristique d'être séparés chez les deux sexes (Wyss et Cherix, 2006). Cette famille de mouches est également très connue pour s'attaquer à toute sorte de denrées alimentaires humaines (Capinera, 2008). Les larves se retrouvent le plus souvent sur des cadavres âgés de plusieurs semaines mais des adultes peuvent être trouvés après 3 ou 4 jours (Wyss et Cherix, 2006).
6. *Phoridae* ou *hump-backed flies* : c'est une famille de petite taille (0,5 à 6 mm de longueur) et de couleur brune, noire ou jaunâtre (Wyss et Cherix, 2006). Elle se compose de plus ou moins 3.000 espèces et 230 genres. Elles se reconnaissent par une nervation alaire très caractéristique (Chinery, 1976). Elles apparaissent généralement en même temps que les *Piophilidae* sur les cadavres en décomposition (Wyss et Cherix, 2006 ; Capinera, 2008). Il est intéressant de noter que compte tenu de leur petite taille, ces espèces réussissent à pénétrer dans des appartements, alors que les *Calliphoridae* n'y ont pas accès (Wyss et Cherix, 2006).
7. *Sphaeroceridae* ou *Small Dung Flies* : c'est une famille de Diptères de petite taille (0,7 à 5,5 mm de longueur), robuste et habituellement de couleur terne (Rohaček *et al*, 2001). On les rencontre dans beaucoup de niches écologiques différentes mais cette famille joue principalement un rôle de décomposeur. Leur nom anglais indique que ces Diptères sont principalement coprophages². Cependant, certaines espèces sont nécrophages ou se développent sur des champignons en dégradation. Finalement, il semblerait que la plupart des espèces de

² qui mange des excréments (Chinery, 2005).

Sphaeroceridae soient associées à de la matière végétale en décomposition. Leurs larves, quant à elles, sont pratiquement toutes saprophages ; plus précisément des « brouteurs microbiens » (Rohaček *et al.*, 2001).

Annexe 6



Figure 2 : Stade de gonflement ou stade « *Bloating* » (Caparros, 2010).

Annexe 7



Figure 3 : « *Marbling* » (Amendt *et al.*, 2010).

Annexe 8



Figure 4 : Stade de décomposition active ou stade « *Active decay* » (Caparros, 2010).

Annexe 9



Figure 5 : « *Maggot mass* » sur le cochon « drogué » avec de la cocaïne en date du 08 mai 2010.

Annexe 10



Figure 6 : Stade de décomposition avancée ou stade « *Advanced decay* » (Caparros, 2010).

Annexe 11



Figure 7 : Stade de décomposition avancée ou stade « *Advanced decay* » (Amendt *et al.*, 2010).

Annexe 12

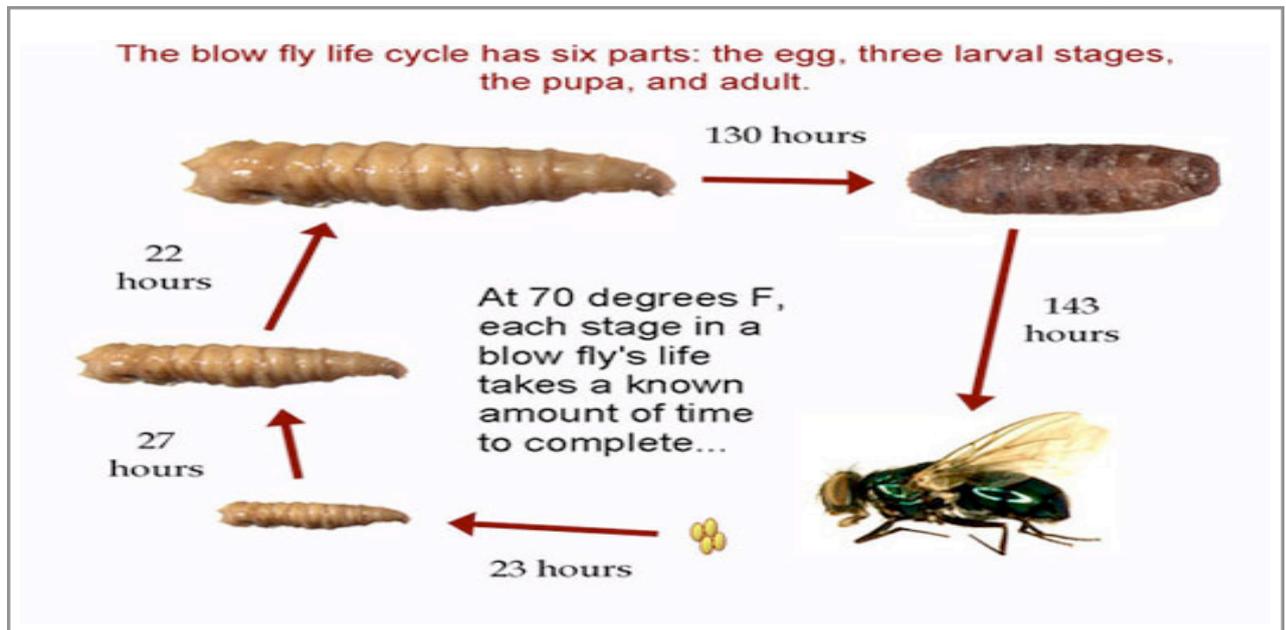


Figure 8 : Cycle biologique des Diptères à 21°C (CMNH, 2010).

Annexe 13



Figure 9 : Pontes de Diptères sur un des cochons de l'expérimentation (Caparros, 2010).

Annexe 14

1. *Dermestidae* ou *skin beetles* : c'est une famille de petits Coléoptères (1-12 mm) qui comportent plus ou moins 1000 espèces dans le monde. Ils se caractérisent par des poils ou des écailles colorées ou sombres qui recouvrent leur corps arrondi et forment des dessins caractéristiques (Capinera, 2008). Les antennes se terminent en massues renflées et peuvent, de même que les pattes, être repliées dans des sillons sous le corps, ce qui permet à l'insecte de simuler la mort (Chinery, 1976). Les larves sont velues et carnassières (Gennard, 2007). Certaines espèces sont des ravageurs importants des cuirs, fromages, lards et autres produits engrangés (Wyss et Cherix, 2006). Les *Dermestidae* peuvent apparaître assez tôt lors de la décomposition d'un cadavre mais préfèrent les tissus desséchés (Capinera, 2008).
2. *Silphidae* ou *carrion beetles* : c'est une famille de Coléoptères de taille moyenne à grande (10 à 45 mm) et contenant plus ou moins 200 espèces. Elles font partie de la superfamille des *Staphylinoidea* dont ils sont les plus gros représentants. Certaines espèces se nourrissent du cadavre alors que d'autres se nourrissent des larves présentes sur celui-ci (Capinera, 2008 ; Bourbonnais, 2010). Il ressort trois sous-familles des *Silphidae* que sont les *Silphinae* (avec 13 espèces en Europe occidentale) qui sont présents sur de grosses carcasses (plus de 300 gr), les *Nicrophorinae* avec 8 espèces en Europe occidentale, présents sur des petites carcasses (moins de 300 gr) et les *Agyrtinae* avec 4 espèces en Europe occidentale, ne comprenant que quelques petites espèces de couleur brune (Chatenet, 1986, Wyss et Cherix, 2006). Les *Nicrophorinae* sont caractérisés par une grande taille, des élytres noires souvent ornées de tâches orangées, par des soins prodigués aux larves et le fait qu'ils enterrent les petites carcasses pour empêcher d'autres insectes de s'y attaquer (Chatenet, 1986 et Capinera 2008). Ils sont attirés par une carcasses de très loin et les premiers individus de chaque sexe, qui arrivent près d'une cadavre, combattent pour chasser ceux qui arrivent par la suite (Wyss et Cherix, 2006). Si le cadavre n'est pas trop gros, ils se glissent en dessous et l'enterrent rapidement à l'aide de leurs mandibules et de leurs tibias épineux. L'accouplement a lieu sur le cadavre et, très rapidement, la femelle creuse une cavité souterraine plus ou moins profonde : elle va y entasser des fragments de chair putréfiée qu'elle malaxe et avec lesquels elle confectionne une boule puis elle creuse une galerie adjacente où elle va pondre ses oeufs (Wyss et Cherix, 2006). Elle attendra l'éclosion des oeufs et continuera à nourrir les larves avec de la nourriture régurgitée (Wyss et Cherix, 2006). Les *Silphinae* sont caractérisés par une taille moyenne ou grande, par une couleur foncée et par une forme large et aplatie (Chatenet, 1986). Les larves sont de types campodéiformes (elles ressemblent à un insecte aptère) chez les *Silphinae* et sont de types éruciformes (elles ressemblent à une chenille) chez les *Nicrophorinae* (Chatenet, 1986 ;

Capinera, 2008 ; Bourbonnais, 2010). Les *Silphinae* et leurs larves se rencontrent sous les cadavres ou chassent les escargots (Chatenet, 1986, Wyss et Cherix, 2006).

3. *Staphylinidae* ou *rove beetles* : cette famille comporte plus ou moins 29.000 espèces (Capinera, 2008). Ils sont facilement reconnaissables à leur forme très allongée et à leurs élytres qui ne couvrent pas tout leur abdomen, ne cachant, le plus souvent, que les deux premiers segments (Chatenet, 1986). Il existe une grande variété de tailles dans cette famille pouvant aller de 1 à 25 mm. Lorsqu'ils sont trouvés sur des cadavres en décomposition, ils viennent se nourrir de larves de Diptères mais peuvent aussi se nourrir de chair en décomposition (Gennard 2007 ; Capinera, 2008). Ils peuvent également se retrouver dans les champignons, les amas de feuilles mortes et les excréments mais où ils recherchent toujours des larves de Diptères pour se nourrir (Chatenet, 1986). On peut rencontrer de nombreux staphylins sur les cadavres très rapidement et ceux-ci peuvent rester tant qu'il existe de l'activité entomologique (Wyss et Cherix, 2006).
4. *Cleridae* ou *checkered (or bone) beetles* : on en dénombre plus ou moins 3.400 espèces dans le monde. Les espèces de la sous-famille des *Korynetinae* se rencontrent parfois sur les cadavres (Wyss et Cherix, 2006). Elles sont caractérisées par une taille allant de 3 à 6 mm et par un corps allongé et couvert de poils (Chinery, 1976 ; Wyss et Cherix, 2006). Elles sont généralement arrondies et possèdent sur le pronotum³ et les élytres des reflets métalliques bleus ou verts (Wyss et Cherix, 2006 ; Gennard, 2007). On les rencontre sur les poissons séchés, la peau et les os d'animaux morts et aussi sur les cadavres (Wyss et Cherix, 2006). Les adultes et les larves se nourrissent d'oeufs et des larves de Diptères (Wyss et Cherix, 2006 ; Capinera, 2008). On peut les retrouver sur des cadavres à plusieurs stades de décomposition mais le plus souvent à partir de quelques semaines (Wyss et Cherix, 2006).
5. *Histeridae* ou *clown beetles* : on en dénombre plus ou moins 3.900 espèces (Capinera 2008). Leur taille ne dépasse généralement pas les 15 mm (Chatenet, 1986). Généralement noir brillant avec parfois des taches rouges. Ils ont le plus souvent une forme globuleuse ou ovale avec des téguments très durs (Chatenet, 1986). Il existe une grande diversité de forme d'*Histeridae* mais ils possèdent tous une série de caractères propre à la famille comme, par exemple, une tête rétractile pouvant s'encaster à l'intérieur du prothorax⁴ (Wyss et Cherix, 2006). En effet, lorsqu'ils sont dérangés, ces insectes rétractent leurs membres dans des sillons situés sous le corps et simulent la mort (Gennard, 2007). Sur les cadavres, ils se nourrissent des larves de Diptères, de leurs oeufs mais également du cadavre (Capinera, 2008). Les larves sont presque

³ Partie dorsale du premier segment du thorax des insectes (Chinery, 2005).

⁴ Premier segment du thorax des insectes (Chinery, 2005).

toutes prédatrices (Chinery, 1976). Les *Histeridae* se rencontrent sur des cadavres relativement frais jusqu'à des cadavres fortement décomposés et leur action peut réduire significativement le nombre de larves de Diptères nécrophages sur un cadavre (Wyss et Cherix, 2006).

6. *Nitidulidae* ou *sap beetles* : ce sont des petits Coléoptères (2 à 6 mm) de forme ovoïde comptant environ 3000 espèces (Wyss et Cherix, 2006). Ils sont habituellement de couleur terne avec des antennes massuées de trois articles. Certains possèdent de tâches ou des bandes jaunes ou rouges (Capinera, 2008). On les trouve sous l'écorce, dans les matières animales et végétales en décomposition, dans les champignons et à proximité de la sève qui s'écoule des plantes (Chinery, 1976 ; Wyss et Cherix, 2006). Ces insectes sont particulièrement associés avec les os et les cadavres en fin de décomposition (Gennard, 2007).
7. *Geotrupidae* ou *dung beetles* : ce sont des Coléoptères ayant une taille pouvant aller de 15 à 25 mm et de forme convexe (Chatenet, 1986). Ils sont habituellement de couleur foncée avec des reflets métalliques et des antennes massuées et pubescentes (Capinera, 2008). Ils sont coprophages pour la plupart, c'est-à-dire qu'ils se nourrissent d'excréments (Chatenet, 1986). Cependant, certaines espèces du genre de *Geotrupes* semblent pouvoir se nourrir sur des cadavres humains (Wyss et Cherix, 2006).

Annexe 15

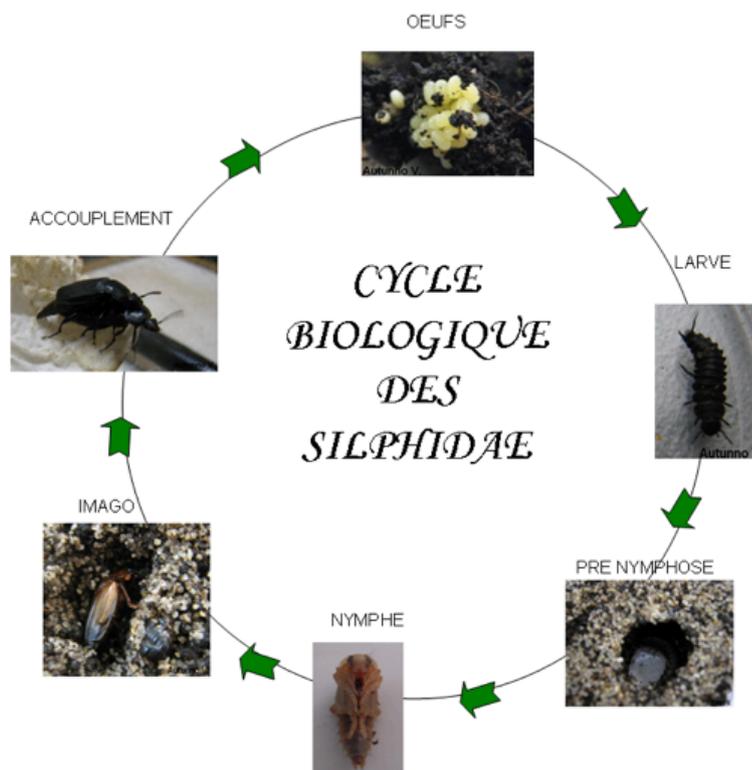


Figure 10 : Cycle biologique des Coléoptères (Autunno, 2010).

Annexe 16

Tableau 6 : Paramètre thermique (°C) régulant le développement de certaines espèces de Diptères (Marchenko, 1988).

Espèce de Diptères	Température de développement minimum	Somme des températures du cycle complet	Somme des températures de l'oeuf à la puppe
<i>Calliphora vicina</i>	2,0	388,0	191,0
<i>Calliphora vomitoria</i>	3,0	472,0	213,0
<i>Protophormia terraenovae</i>	7,8	251,0	191,0
<i>Muscina assimilis</i>	7,9	240,0	102,0

Annexe 17



Figure 11 : Emplacement du cochon témoin (Caparros, 2010).



Figure 12 : Emplacement du cochon « drogué » avec du pentobarbital (Caparros, 2010).



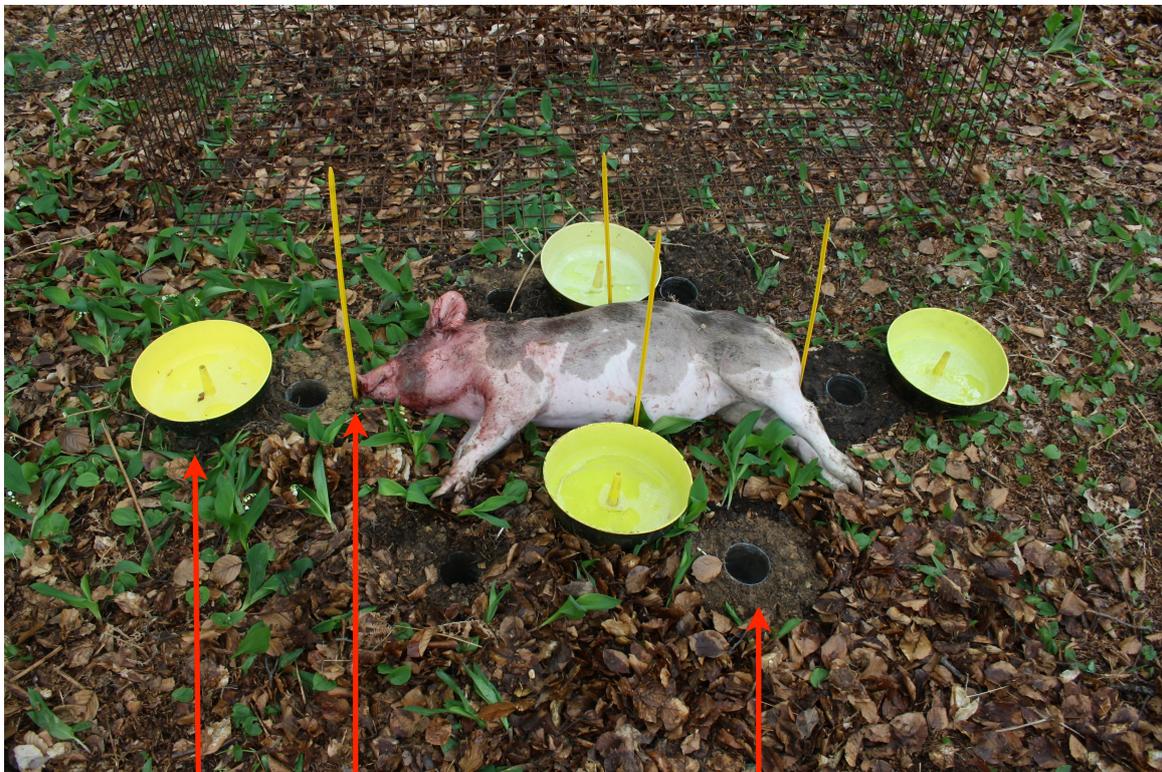
Figure 13 : Emplacement du cochon « drogué » avec de la cocaïne (Caparros, 2010).

Annexe 18

Figure 14 : Cage et pièges utilisés (Caparros, 2010).



Figure 15 : Pièges utilisés (Caparros, 2010).



Bac Jaune ou BJ

Piège à coléoptères ou PC

Repère visuel pour le volume du corps

Annexe 19

Les pistolets à balle captive (à percussion) ont un piston intérieur qui pénètre dans le crâne et provoque des dommages physiques dans le cerveau (AASV, 2008). Les pistolets à percussion peuvent étourdir ou tuer l'animal en fonction de la taille du porc. Il est important de choisir la cartouche adaptée à l'âge et à la taille du porc pour s'assurer que le piston pénètre dans le crâne de façon efficace (AASV, 2008).

Suite à l'utilisation de ce fusil, le cerveau de l'animal est détruit (Chevillon, 2004). Pour ce faire, il faut que le point d'impact se situe à quatre ou cinq centimètres au-dessus de la ligne imaginaire reliant les arcades sourcilières, perpendiculairement à la boîte crânienne. Cependant, il est à noter la présence d'hémorragies locales au niveau du groin et du point d'impact). L'arrêt du coeur est obtenu après six minutes mais si une saignée est pratiquée, le coeur s'arrêtera beaucoup plus vite (entre 1 minute et 30 secondes à 2 minutes). Il est également à noter la présence de convulsions et de phénomènes de pédalage : ceci correspond à la perte totale des fonctions du système nerveux central (Chevillon, 2004).

Ce type d'euthanasie est considérée comme la plus acceptable des méthodes physiques et est conseillé pour les porcelets appartenant à une tranche de 8 à 25 kg (Chevillon, 2004; Close *et al.*, 1996).

Annexes 20

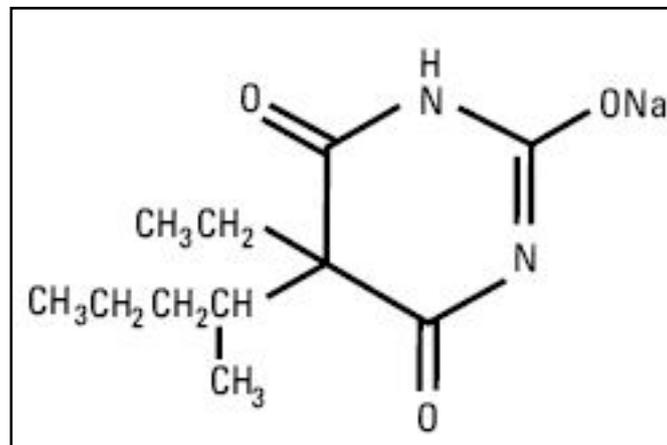


Figure 16 : Molécule de pentobarbital sodique (Medecine Online, 2010).

Annexe 21

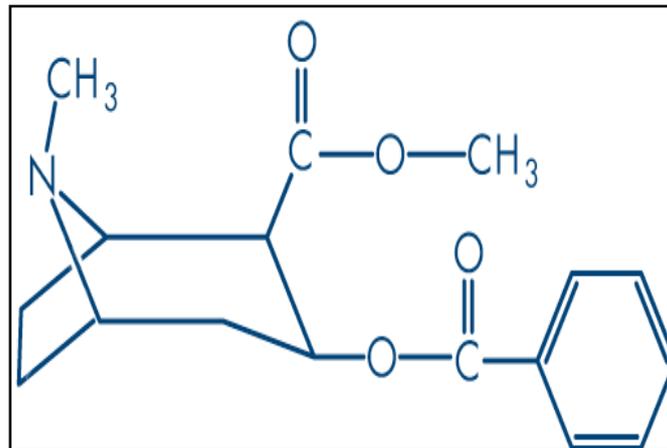


Figure 17 : Molécule de cocaïne base (EMCDDA, 2010).

Annexe 22



Figure 18 : Enregistreur automatique Hobo RH/TEMP 8K (Onset, 2010).



Figure 19 : Protection de l'enregistreur automatique (Caparros, 2010).

Annexe 23

PIG T-P-C - DATE.

I. Insectes vivants :

COLEO	0	1	2	3	4	5
Tête						
Corps						
Alentour						

DIP	0	1	2	3	4	5
Tête						
Corps						
Alentour						

II. Masse(s) larvaire(s) :

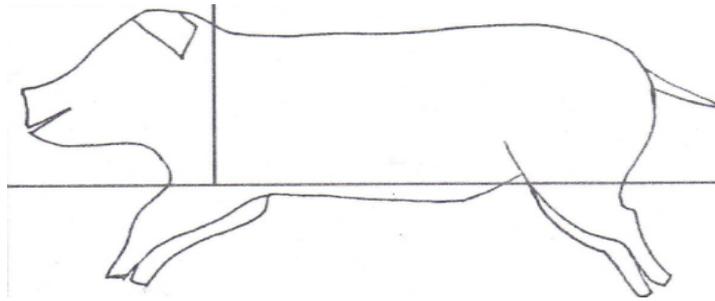
	0	1	2	3	4	5
Tête						
Corps						

III. Ponte(s) :

	0	1	2	3	4	5
Tête						
Corps						

Figure 20 : Face recto de la fiche de terrain (Caparros, 2010).

IV. Décomposition du corps :



V. Autres remarques :

Figure 21 : Face recto de la fiche de terrain (Caparros, 2010).

Annexe 24

Tableau 7 : Principaux ordres et principales familles d'insectes récoltés et classés selon leur groupe écologique. (Embranchement, Ordre, Famille et immature).

<u>Nécrophages</u>	<u>Nécrophiles</u>	<u>Omnivores</u>	<u>Opportunistes</u>	<u>Accidentelles</u>
<u>Coléoptères</u>	<u>Coléoptères</u>	<u>Hyménoptères</u>	<u>Myriapodes</u>	<u>Autres</u> <u>Coléoptères</u>
<i>Cleridae</i>	<i>Cleridae</i>			<u>Blattopères</u>
<i>Dermestidae</i>	<i>Dermestidae</i>			<u>Dermaptères</u>
<i>Nitidulidae</i>	<i>Histeridae</i>			<u>Hémiptère</u>
<i>Silphidae</i>	<i>Nitidulidae</i>			<u>Lépidoptères</u>
<u>Diptères</u>	<i>Silphidae</i>			<u>Larves de</u> <u>Lépidoptères</u>
<i>Calliphoridae</i>	<i>Staphylinidae</i>			<u>Mécoptères</u>
<i>Fanniidae</i>	Larves			<u>Neuroptères</u>
<i>Muscidae</i>				
<i>Piophilidae</i>				
<i>Phoridae</i>				
<i>Sarcophagidae</i>				
<i>Sphaeroceridae</i>				

Annexe 25

Tableau 9 : Résultats du test de Friedman appliqué sur les différentes familles de Diptères (la significativité du test est atteinte pour une P-Value < 0,05).

Diptères	P-Value du test
Calliphoridae	0,861
Fanniidae	0,451
Muscidae	0,766
Phoridae	0,208
Piophilidae	0,094
Sarcophagidae	0,303
Scatophagidae	0,086
Sciaridae	0,368
Sphaeroceridae	0,049

Annexe 25

Tableau 10 : Résultats du test de Wilcoxon appliqué sur à la famille des Piophilidae et à la famille des Sphaeroceridae (la significativité du test est atteinte pour une P-Value < 0,05).

	P-Value du test PIG T - PIG P	P-Value du test PIG T - PIG C	P-Value du test PIG P - PIG C
Piophilidae	0,070	0,017	0,384
Sphaeroceridae	0,698	0,049	0,224

Annexe 26

Tableau 11 : Résultats du test de Friedman appliqué sur les différentes familles de Coléoptères ainsi que sur les larves de Coléoptères (la significativité du test est atteinte pour une P-Value < 0,05).

Coléoptères	P-Value
Cleridae	0,207
Dermestidae	0,223
Histeridae	0,708
Larves de Coléoptères	0,047
Nicrophorinae	0,001
Silphidae	0,005
Staphylinidae	0,831
Silphinae	0,0003

Annexe 27

Tableau 12 : Résultats du test de Wilcoxon appliqué à la famille des Silphidae ainsi qu'aux larves de Coléoptères (la significativité du test est atteinte pour une P-Value < 0,05).

	P-Value du test PIG T - PIG P	P-Value du test PIG T - PIG C	P-Value du test PIG P - PIG C
Larves de Coléoptères	0,944	0,009	0,065
Nicrophorinae	0,008	0,198	0,002
Silphidae	0,078	0,730	0,0034
Silphinae	0,076	0,065	0,0003