

L'entomologie forensique, les insectes résolvent les crimes

Christine Frederickx*, Jessica Dekeirsschieter, François J. Verheggen & Eric Haubruge

Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Unité d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive, Passage des Déportés 2, B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail: entomologie.gembloux@ulg.ac.be. *Auteur correspondant: Christine Frederickx, Tél.: +32 81 62 22 87; Fax: +32 81 62 23 12, e-mail: cfrederickx@student.ulg.ac.be

L'entomologie forensique est une discipline des sciences forensiques qui étudie les insectes et d'autres arthropodes dans un contexte médico-légal. Pourtant, l'idée d'utiliser les insectes en criminalistique n'est pas neuve, déjà en 1894 Mégnin nous parlait de la "faune des cadavres". Depuis les années 2000, l'entomologie forensique connaît un grand essor en Europe, notamment avec la création en 2002 de l'Association Européenne pour l'Entomologie Forensique (EAFE) qui regroupe l'ensemble des scientifiques spécialisés dans ce domaine. Actuellement, les insectes nécrophages ne sont plus exclusivement utilisés pour estimer la période écoulée entre le décès d'une victime et la découverte du corps ou intervalle post-mortem. Ils peuvent aussi apporter des informations dans les cas d'abus et de négligences chez les enfants ou les personnes âgées, sur les causes de la mort, l'identité des victimes, etc. Malgré ces progrès, cette discipline connaît certaines lacunes, il y a très peu de données sur les Coléoptères nécrophages, sur la décomposition en milieu marin, des corps enterrés, etc. Cependant, de nouvelles techniques se mettent en place et permettent d'améliorer les méthodes entomologiques existantes.

Mots clés: Entomologie criminelle, insectes nécrophages, intervalle post-mortem, entomotoxicologie, ADN, négligence d'enfants.

Forensic entomology is a branch of the forensic sciences which studies insects and other arthropods in a medico-legal context. However, the idea to use the insects in forensic is not recent; already in 1894 Mégnin talked about the "Faune des cadavres". Since the years 2000, forensic entomology made great strides in Europe, in particular with creation in 2002 of European Association for Forensic Entomology (EAFE) which gathers the whole of the scientists specialized in this field. At present, necrophagous insects are not exclusively used to estimate the time elapsed since the death of a victim and the recovery of her cadaver, so-called post mortem interval. Entomologists use also insects as indicators of neglect of elderly or children. Insects give information about the causes of death, the identity of the victims, etc. In spite of this progress, this discipline knows certain lacks, for example a lack of information on necrophagous Coleoptera, on decomposition in an aquatic environment and, of buried bodies, etc. However, several novel technologies set up themselves and improve the existing entomological methods.

Keywords: Criminal entomology, necrophagous insects, post-mortem interval, entomotoxicology, DNA, neglected children.

1. INTRODUCTION

L'entomologie forensique comprend trois principales disciplines, qui sont l'entomologie "urbaine", l'entomologie des denrées stockées et celle qui nous intéresse, l'entomologie criminelle (Hall, 2001; Hall & Huntington, 2009). L'entomologie urbaine se concentre principalement sur les insectes (termites, cafards, etc.) causant des nuisances au sein de l'environnement humain (habitations, piscines, musées, etc.). L'entomologie des denrées stockées s'intéresse aux arthropodes et débris d'arthropodes

(exuvies, excréments, partie d'insecte, etc.) retrouvés dans la nourriture et autres produits (livres, textiles, etc.). Les débris d'insecte dans les céréales du petit déjeuner, les chenilles dans les boîtes de conserve de légumes, et les larves de mouche dans les sandwichs des fast-foods sont des exemples généralement plaidés par le secteur des denrées stockées. Enfin, l'entomologie criminelle est définie comme étant l'utilisation des insectes et d'autres arthropodes, tels que les acariens, à des fins médico-légales. L'entomologie criminelle revêt plusieurs vocables tels que l'entomologie (médico)-légale, judiciaire ou

forensique (Catts & Goff, 1992; Hall, 2001; Hall & Huntington, 2009). Cependant, la dénomination "entomologie forensique" tend à supplanter toutes ces dénominations bien qu'elle inclut les deux autres disciplines (Dekeirsschieter *et al.*, 2011).

Lorsqu'une espèce animale meurt, elle est rapidement visitée et colonisée par de nombreux organismes tels que des bactéries, des champignons, des arthropodes dont les insectes ainsi que des vertébrés (mammifères et oiseaux) (Carter *et al.*, 2007). Au sein de nos écosystèmes tempérés, parmi les animaux consommateurs, les insectes nécrophages sont les plus spécialisés. Associés aux décomposeurs, ils participent à la minéralisation des matières organiques. Leur rôle est donc primordial au sein des écosystèmes terrestres où ils remplissent la fonction "d'éboueurs entomologiques" (Leclercq & Verstraeten, 1993). Le cadavre constitue pour ces différentes espèces un substrat nourricier, un site de reproduction, un refuge ou encore un territoire idéal bien que fluctuant au rythme des processus de décomposition. Parmi les insectes nécrophages, deux ordres sont largement présents sur les carcasses animales en décomposition: les Diptères et les Coléoptères (Catts & Goff, 1992; Hall, 2001; Wyss & Cherix, 2006; Hall & Huntington, 2009). Cependant, toutes les dégradations imposées au cadavre ne sont pas dues à la seule activité entomologique et microbienne, certains cadavres mal ou non inhumés peuvent subir des déprédations causées par des mammifères (rongeurs, renards, etc.) et des oiseaux (corbeaux, etc.), y compris les animaux domestiques (chiens, chats) (DeVault *et al.*, 2003; Dekeirsschieter *et al.*, 2011). On parle de *scavenging*; les animaux consommeraient de 35 à 75 % du corps au sein d'un écosystème terrestre et jusqu'à l'entièreté de celui-ci lorsque l'entomofaune et les bactéries sont moins actives (DeVault *et al.*, 2003; Dekeirsschieter *et al.*, 2011).

2. HISTORIQUE

L'utilisation de l'entomologie à des fins médico-légales n'est pas récente (Benecke, 2001a, 2004; Gennard, 2007). La première affaire criminelle résolue avec l'aide des insectes date du 13^{ième} siècle en Chine. Un assassin 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, 2001b; Amendt *et al.*, 2004; Wyss & Cherix, 2006; Gennard, 2007). Plus classiquement, on attribue la première utilisation de cette méthode au Docteur Bergeret, en 1850 (Bergeret, 1855; Megnin, 1894; Benecke, 2001a; Gennard, 2007). Celui-ci étudia les insectes présents sur le corps d'un nouveau-né découvert 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) (Megnin, 1894). Dans cet ouvrage, il décrit huit vagues d'insectes qui se succèdent sur des cadavres en décomposition.

Depuis cette époque, les connaissances se sont affinées, notamment par l'utilisation de modèles animaux. Ceux-ci sont choisis pour des caractéristiques spécifiques dans le but d'être utilisés pour la recherche expérimentale, l'enseignement, pour ensuite extrapoler les résultats à l'homme (Amendt *et al.*, 2004).

En Europe, différents entomologistes comme le belge M. Leclercq avec son livre intitulé: "Entomologie et médecine légale. Datation de la mort", le finlandais P. Nuorteva et le russe M.I. Marchenko ont contribué à l'amélioration des connaissances de la biologie des insectes nécrophages (Nuorteva, 1977; Leclercq, 1978; Marchenko, 1988; Amendt *et al.*, 2004; Wyss & Cherix, 2006).

Il faudra ensuite attendre l'année 1985 pour que les premiers protocoles de prélèvements d'insectes sur les scènes de crime soient publiés dans le "Journal de Médecine Légale et de Droit Médical" (Leclercq & Brahy, 1985). Le premier véritable guide de terrain date de 1990: "*Entomology and Death: A Procedural Guide*" par Catts et Haskell (Catts & Haskell, 1990; Wyss & Cherix, 2006).

En 2002, lors de la première réunion européenne d'entomologie forensique, est née l'idée d'une association européenne autour de cette thématique de recherche (Klotzbach *et al.*, 2004; Wyss & Cherix, 2006; Gennard, 2007). Elle sera officiellement créée en 2003 à Francfort lors de la première conférence européenne d'entomologie forensique. Cette association appelée "European

Association for Forensic Entomology" (EAFE) a pour but de promouvoir le développement de l'entomologie forensique à travers l'Europe, d'élever le niveau de compétences des différents acteurs de cette discipline ainsi que de standardiser les protocoles d'échantillonnage d'insectes sur les cadavres et scènes de crimes (Klotzbach *et al.*, 2004; Wyss & Cherix, 2006; Gennard, 2007).

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 2005 (Greenberg & Kunich, 2005); *Traité d'entomologie forensique: les insectes sur la scène de crime* par Wyss et Cherix en 2006 (Wyss & 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 2000 et en 2009 (Byrd & Castner, 2000, 2009) et récemment, *Current Concepts in Forensic Entomology* par Amendt, Campobasso, Goff et Grassberg en 2010 (Amendt *et al.*, 2010).

3. DE NOS JOURS

Actuellement, les résultats des expertises entomologiques ne concernent plus seulement la datation de la mort, la dissimulation d'un corps ou

de son déplacement éventuel (Wyss & Cherix, 2006). Le potentiel des insectes nécrophages et nécrophiles est énorme, tant par la fiabilité et la diversité des informations fournies par ceux-ci. Ils peuvent ainsi apporter des informations dans les cas d'abus et de négligences chez les enfants ou les personnes âgées. Les insectes sont également utilisés afin d'obtenir des informations sur les causes du décès ou sur l'identité des victimes par l'ADN extrait du tube digestif des insectes sarcosaprophages, etc. (Benecke & Lessig, 2001; Benecke & Wells, 2001; Amendt *et al.*, 2004; Gupta & Setia, 2004; Gomes & Von Zuben, 2006; Gennard, 2007).

3.1. Datation de la mort par les méthodes entomologiques

La première application qui nous vient à l'esprit quand on parle d'entomologie forensique est l'utilisation des insectes pour estimer la date du décès. On parle plus précisément d'intervalle post-mortem ou IPM, celui-ci se définit comme étant le laps de temps écoulé entre la date du décès et la date de découverte du corps (Benecke, 2004; Wyss & Cherix, 2006; Gaudry *et al.*, 2007) (figure 1). Lorsque la mort remonte à plus de 72h (mort "ancienne") ou que des signes de putréfaction avancée sont visibles, les méthodes médicales classiques (méthodes thermométriques, rigidité et lividités cadavériques et les méthodes biochimiques) ne sont plus applicables et seuls les insectes peuvent aider à estimer la date du décès

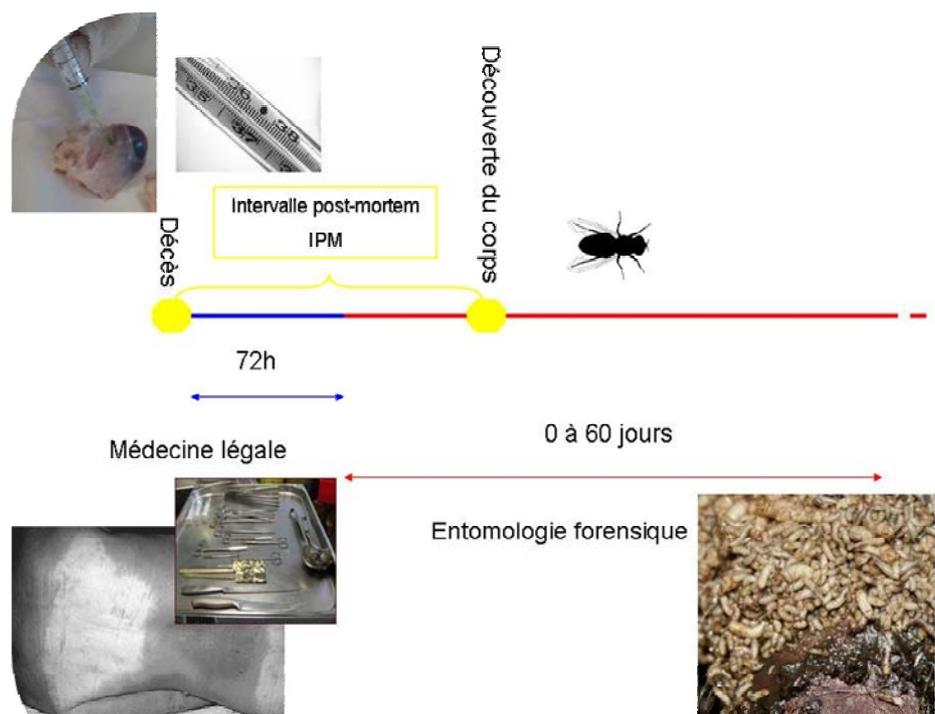


Figure 1: Estimation de l'intervalle post-mortem

(Wyss & Cherix, 2006; Gaudry *et al.*, 2007).

Dans la littérature, on parle souvent de deux méthodes pour déterminer un IPM en utilisant les insectes comme bioindicateurs (Swift, 2006; Wyss & Cherix, 2006; Gennard, 2007).

La première méthode appelée accumulation des degrés jours (ADJ) ou degrés heures (ADH) se base sur le cycle de développement des Diptères nécrophages (Greenberg & Kunich, 2005; Amendt *et al.*, 2004, 2007; Wyss & Cherix, 2006; Gennard, 2007). Cette datation entomologique met en relation le développement des insectes trouvés sur le corps ou aux alentours de celui-ci avec la température du 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 & 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. Cette méthode est

recommandée par les experts pour fournir une estimation aussi précise que possible de l'IPM (Haskell *et al.*, 1997; Wyss & Cherix, 2006; Niederegger *et al.*, 2010). Il existe des tables (ou index) publiées concernant les vitesses de développement de la plupart des Diptères d'importance forensique (Marchenko, 1988, 2001). Mais compte tenu des variations qui peuvent exister entre les populations d'une même espèce, il peut être opportun d'établir ses propres tables en fonction des températures régionales les plus représentatives (Wyss & Cherix, 2006).

La deuxième méthode se base sur la succession des espèces ou escouades successives d'insectes au cours du temps sur un cadavre (figure 2). C'est aux travaux de Megnin que l'on doit la schématisation de la colonisation du cadavre en huit vagues successives d'arthropodes nécrophages sur les corps (Megnin, 1894). Cette théorie associe à chaque stade de décomposition du corps une espèce ou un groupe d'espèces d'arthropodes. Les estimations se basent alors, 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 & Cherix, 2006). En effet, la succession chronologique des espèces sur un cadavre n'est pas immuable. Le taux de décomposition du corps est variable, de même que le cycle de développement de l'insecte, tout deux fortement influencés par les conditions climatiques locales.

3.2. Enfants et personnes âgées maltraités

Les insectes nécrophages peuvent aussi révéler certains cas de maltraitances et de négligence sur les personnes dépendantes de notre société telles que les personnes âgées ou les enfants en bas âge (Benecke & Lessig, 2001; Gennard, 2007). En effet, les larves de certains Diptères nécrophages, par exemple *Lucilia sericata* Meigen 1826, sont attirées par les odeurs, comme l'ammoniaque, provenant de l'urine et des fèces. La présence d'asticots au niveau d'une blessure (escarres) ou d'un orifice naturel d'une personne vivante provoque des lésions et indique souvent que la personne est négligée. Ces lésions, appelées myiases des plaies ou traumatiques, apparaissent sous forme d'abcès et de furoncles de coloration rougeâtre qui deviennent douloureux. L'estimation de l'âge de ces larves permet de déterminer depuis quand les larves sont présentes



Figure 2: Escouades successives d'insectes au cours du temps sur un cadavre

sur le corps et donc depuis quand la personne est délaissée. Cependant, la médecine a su également tirer parti des mouches. En effet, on emploie leurs larves à des fins thérapeutiques en asticothérapie pour débrider les plaies. On parle également de "*maggot therapy*", de larvothérapie ou de luciliathérapie en référence aux espèces de Calliphoridae employées (Guilhou *et al.*, 2003; Nigam *et al.*, 2006; Gennard, 2007).

3.3. Entomotxicologie

L'entomotxicologie est l'étude de la bioaccumulation des xénobiotiques¹ chez les insectes ou d'autres arthropodes en vue de déterminer la présence éventuelle de ces mêmes xénobiotiques au niveau du cadavre (Gagliano-Candela & Avantaggiato, 2001; Introna *et al.*, 2001). En effet, les insectes nécrophages (aussi bien les Diptères que les Coléoptères) collectés sur un cadavre et aux alentours de celui-ci s'avèrent utile 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" (Introna *et al.*, 2001; Amendt *et al.*, 2004; Benecke, 2004; Gaudry *et al.*, 2007; Lopes de Carvalho, 2010). Effectivement, les larves en se nourrissant des tissus cadavériques vont accumuler et stocker dans leurs tissus les éventuelles substances toxiques (médicaments, drogues, poisons, alcool) présentes au niveau de leur substrat nourricier, le cadavre (Amendt *et al.*, 2004). Il est alors possible de détecter les drogues sur les larves prélevées du cadavre, mais également sur les restes d'insectes imputrescibles qui peuvent persister des années après le décès (enveloppes pupales, exuvies, fragments de cuticule, etc.) (figure 3) (Benecke, 2004) et même parfois de matière fécale de Coléoptères (Gagliano-Candela & Avantaggiato, 2001). Cependant, la non-détection de drogue au niveau des insectes ne signifie pas qu'il n'y avait pas de drogue au niveau du substrat nourricier.

Actuellement, l'étude entomotxicologique des larves permet d'avoir une information qualitative par rapport aux xénobiotiques utilisés mais il n'est pas toujours possible d'extrapoler la concentration de ces xénobiotiques dans le sang humain en utilisant la concentration de xénobiotique trouvée

dans les larves (Tracqui *et al.*, 2004; Lopes de Carvalho, 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 *et al.*, 2004). Il est à noter que les concentrations retrouvées dans les larves sont significativement inférieures à celles trouvées sur les tissus cadavériques nourriciers (Lopes de Carvalho, 2010). L'explication de ce phénomène vient du fait que les insectes métabolisent et éliminent les substances toxiques ingérées durant leur développement (Campobasso *et al.*, 2004).

L'entomotxicologie 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 & Turner, 2004). Elles passeraient donc inaperçues et les IPMs seraient, de ce fait, mal estimés (O'Brien & Turner, 2004).

L'entomotxicologie étant une branche de l'entomologie forensique plutôt jeune et en plein essor (Lopes de Carvalho, 2010). 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.

3.4. ADN et entomologie forensique

En entomologie forensique, l'identification des larves, des pupes et des adultes nécrophages se base principalement sur des caractéristiques morphologiques (Benecke & Wells, 2001; Gupta & Setia, 2004; Gomes & Von Zuben, 2006; Benecke, 2009). Ce travail est essentiel, mais demande une certaine expérience dans la

¹ Xénobiotiques: substances toxiques étrangères à l'organisme, souvent d'origine non biologique (Berthet, 2006)

taxonomie. Pour confirmer les identifications, il est nécessaire d'élever les larves jusqu'au stade adulte, ce qui occasionne une perte de temps importante (Gomes & Von Zuben, 2006). De plus, sous certaines conditions, il est difficile voire impossible d'identifier les insectes. C'est notamment le cas des insectes immatures, des insectes endommagés ou encore des adultes appartenant à certain taxa comme les Sarcophagidae (Wells & Stevens, 2009). Pour ces raisons, l'ADN peut être utilisé comme une technique d'identification taxonomique alternative ou complémentaire, plus rapide et plus fiable mais aussi plus onéreuse (Gupta & Setia, 2004, Gennard, 2007, Wells & Stevens, 2009).

Durant ces dernières années, les techniques d'ADN pour identifier les espèces sarcosaprophages utilisaient des gènes marqueurs d'ADN nucléaire ou mitochondrial (Boehme *et al.*, 2010). De nos jours, la plupart des études utilise la technique du COI pour obtenir un barcode moléculaire (Hebert *et al.*, 2003 ; Wells & Stevens, 2008 ; Wilson-Wilde *et al.*, 2010). Un barcode moléculaire est un fragment d'ADN présente chez tous les organismes vivants. La séquence de ce fragment d'ADN est quasiment identique chez des individus qui appartiennent à la même espèce, et permet donc de déterminer l'espèce à laquelle appartient un individu en ne connaissant que la séquence de ce fragment d'ADN. Le fragment choisi est un gène du génome mitochondrial codant pour la première sous-unité du cytochrome oxydase (COI), une protéine qui intervient dans la chaîne respiratoire de la mitochondrie. Chaque cellule contenant de nombreuses mitochondries, le gène COI est présent en de nombreuses copies, ce qui facilite son séquençage. De plus, ce gène présente un niveau de variabilité intéressant : les différences entre les séquences de ce gène chez différents individus, apparues par mutations au cours du temps, sont faibles entre les individus d'une même espèce et élevées entre des individus d'espèces

différentes. C'est ainsi que cette séquence d'ADN peut être utilisée, à l'instar des codes-barres utilisés dans le commerce, comme un outil d'identification taxonomique des organismes vivants: tous les individus d'une espèce présentent des séquences identiques ou très proches, ce qui va permettre l'identification d'un spécimen en comparant sa séquence avec celles des espèces connues (Harvey *et al.*, 2008).

Toutefois, cette technique peut induire des ambiguïtés dans l'identification de spécimens. En effet, il peut exister de grandes variations entre deux Diptères appartenant à la même espèce. Ceci a été démontré lorsque ces espèces ont des origines géographiques distinctes (Gaudry *et al.*, 2007). Enfin, les études génétiques se focalisent surtout sur la famille des Calliphoridae (Malgorn & Coquoz, 1999; Stevens & Wall, 2001; Wallman & Donnellan, 2001; Harvey *et al.*, 2003, 2003b, 2008) tandis que les Sarcophagidae ou les Muscidae sont, jusqu'à présent oubliés (figure 4).

Dans une autre optique, on peut aussi récupérer l'ADN humain contenu dans le tractus digestif des asticots et en effectuer le séquençage afin de déterminer le profil génétique de la victime (Benecke & Wells, 2001). Cette application trouve une utilité lorsque l'on est en présence d'insectes nécrophages en grande quantité mais en l'absence de cadavre (déplacements du corps par exemple) (Gaudry *et al.*, 2007).

3.5. Extraction de résidus de poudre

Enfin, l'identification et l'analyse précise des blessures sur les cadavres est une tâche très difficile qui peut mener à de fausses interprétations, particulièrement lorsqu'une activité larvaire est présente sur le corps. En effet, l'activité larvaire peut produire des artefacts post mortem qui peuvent simuler des blessures (Pollak & Reiter, 1988; Roeterdink *et al.*, 2004; Parker *et al.*, 2009). Typiquement, les rayons X sont utilisés



Figure 3: Enveloppes pupales



Figure 4: Diptères nécrophages (de g. à d.) : Calliphoridae, Sarcophagidae et Muscidae

sur les corps pour détecter la présence de projectiles (balles de fusil) ou de fragments de projectile (Rainio *et al.*, 2001). De plus, l'analyse du squelette de la victime peut souvent indiquer des dommages causés par un coup de fusil car la balle peut laisser des inscriptions sur les os pendant son voyage dans le corps (Roeterdink *et al.*, 2004). Ces inscriptions sont non seulement utiles pour identifier des dommages causés par balle, mais également pour déterminer la direction du passage de celle-ci dans le corps (Druid, 1997). Cependant, avec des cadavres en décomposition avancée et en l'absence de ces marques d'identification sur les os, d'autres techniques doivent être utilisées afin d'établir si une arme à feu a été impliquée dans la mort. Pour cela, deux techniques d'extraction de résidus de poudre sur les larves d'insectes nécrophages ont été mises au point par Roeterdink en 2004 et par Lagoo en 2010 (Roeterdink *et al.*, 2004; Lagoo *et al.*, 2010). Toutefois, cette technique doit être étudiée plus en profondeur car les substances extraites des larves peuvent aussi provenir du milieu dans lequel les larves ont évolués.

4. D'AUTRES VOIES A EXPLORER

L'ensemble des techniques décrites ci-dessus démontrent que le potentiel des insectes est énorme. Malgré ces avancées scientifiques, les insectes nécrophages ont encore beaucoup de secrets à dévoiler à la justice pour participer ainsi plus efficacement à la recherche et à la manifestation de la vérité. Par exemple, la plupart des études en entomologie forensique se concentre sur les Diptères nécrophages et néglige les Coléoptères. Un bon exemple de ceci est la review



Figure 5: *Thanatophilus micans* Fabricius

de Smith (Smith, 1986), où 70 pages sont consacrées aux Diptères et seulement 12 aux Coléoptères; cette situation a très peu évolué depuis 20 ans (Midgley & Villet, 2009). Pourtant, il y a au moins autant d'espèces de Coléoptères nécrophages que de Diptères nécrophages (Braack, 1986; Bourel *et al.*, 1999; Salazar, 2006; Martinez *et al.*, 2007). Cette négligence est due au fait que les Diptères localisent les cadavres plus rapidement, et donne ainsi une évaluation plus précise de l'intervalle post mortem (IPM). Cependant, des observations récentes (Midgley & Villet, 2009) ont prouvé que *Thanatophilus micans* Fabricius 1794 (Silphidae) pouvait localiser des cadavres dans les 24 h de la mort, et l'utilité potentielle de cette espèce dans l'évaluation de l'IPM est ainsi égale à celle basée sur les Diptères (figure 5). Pour pouvoir utiliser les Coléoptères dans l'IPM, il est nécessaire de connaître leur biologie (Anderson, 2001) mais aussi leur fenêtre d'activité sur les cadavres (Watson & Carlton, 2005; Tabor *et al.*, 2004; Bourel *et al.*, 1999).

La recherche de nouvelle méthode pour estimer l'IPM passe aussi par l'utilisation des hydrocarbures cuticulaires (Drijfhout, 2010). Plusieurs études ont démontré que la composition de ces hydrocarbures n'est pas statique mais change avec le temps (Gilby & McKellar, 1970; Zhu *et al.*, 2006, 2007; Ye *et al.*, 2007; Roux *et al.*, 2008). Si ces changements se produisent à cause du développement de l'insecte c'est-à-dire durant son cycle de développement, ces hydrocarbures pourraient être utiles dans l'estimation de l'IPM. Et par conséquence, augmenter l'exactitude de cette estimation post mortem. Le problème principal est le manque de recherche fondamentale dans la façon dont ces composés sont produits et stockés par l'insecte. Ce domaine de recherche est assez nouveau et toutes les études ont été effectués dans les conditions climatiques strictes (Zhu *et al.*, 2006, 2007; Roux *et al.*, 2008). Cependant, un changement de température ou d'humidité affectera le profil de composition des hydrocarbures. Par conséquent, d'avantage de recherches sont nécessaire pour déterminer si les résultats obtenus jusqu'ici en laboratoire sont semblables à ceux obtenus *in situ* (Drijfhout, 2010).

Une autre voie qui n'en est encore qu'à ses débuts est l'utilisation des insectes dans le cas d'incendie.

Il est nécessaire d'améliorer les méthodes d'estimation de l'IPM des corps brûlés. En effet, ceux-ci attirant plus précocement les insectes (craquements de l'épiderme fournissant des zones propices à l'oviposition) par rapport aux corps non incendiés, il est possible de sur-estimer la date de la mort (Avila & Goff, 1998; Anderson, 2009).

En dépit de l'étendue des océans, peu est connu au sujet de la décomposition humaine ou animale et de la dynamique faunique associée à l'environnement marin (Amendt *et al.*, 2010). La connaissance de la décomposition d'un corps immergé et de l'entomofaune associée à ce milieu est importante. De nos jours, la datation de corps immergé se base sur la dernière fois que la victime ait été aperçue (Wentworth *et al.*, 1993; Anderson, 2010). La majeure partie de notre connaissance d'un corps immergé est anecdotique et basée sur des études de cas (Giertsou & Morild, 1989; Davis, 1992; Dumser & Türkay, 2008; Anderson, 2010).

Ce milieu n'est pas le seul à être délaissé, les corps enterrés le sont aussi (Gaudry, 2010). Il est bien connu que le processus de décomposition dans le sol soit différent de la surface, due à ces différents paramètres, comme l'accessibilité de la faune entomologique au corps (Merritt *et al.*, 2007). Dans cette situation, l'évaluation de l'IPM est quasi impossible en raison du manque d'information sur les données édaphiques et des espèces d'intérêt forensique. Pour mieux comprendre la dynamique des populations d'insecte et interpréter leurs processus, il est important d'avoir une meilleure connaissance de la décomposition des cadavres une fois enterré. Une meilleure connaissance de l'impact des facteurs intrinsèques et extrinsèques sur un tel environnement (la température, pluie, vent, etc.), et des paramètres physiques de l'emplacement d'enterrement (profondeur, type de sol, humidité, contenu d'air, température, etc.) sont aussi nécessaires (Lord *et al.*, 1992 ; Gaudry, 2010).

A l'avenir, les connaissances de l'entomofaune doivent être approfondies et adaptées selon les zones biogéoclimatiques, les différents écosystèmes (rivière, lac, voiture, etc.) et selon les saisons afin d'affiner les techniques d'identification et les méthodes de datation de la mort basées sur l'étude de l'entomofaune (Gupta & Setia, 2004; Gennard, 2007). Par ailleurs, les cartes de distributions des insectes doivent être

mises à jour en raison du réchauffement climatique (Turchetto & Vanin, 2004, 2010). Ce phénomène est à l'origine de la dispersion d'espèces tropicales et subtropicales en Europe du Nord, tandis que les insectes vivant dans le Nord disparaissent ou se déplacent vers des niches écologiques plus appropriées mais restreintes. L'effet du changement climatique a non seulement des effets sur la composition de la communauté nécrophage mais également dans la succession temporelle des espèces nécrophages avec des conséquences évidentes dans l'interprétation des preuves entomologique (Turchetto & Vanin, 2010). Ce changement climatique peut aussi induire des variations annuelles dans l'arrivée et le départ des insectes nécrophages (Archer & Elgar, 2003). De plus, les durées des cycles de développement et des diapauses doivent être revues en fonction de l'évolution de la température (Turchetto & Vanin, 2004; 2010).

Au niveau de l'entomotoxicologie, des études ultérieures devront se pencher sur la bioaccumulation et la métabolisation des toxiques dans l'organisme de différentes espèces d'insectes nécrophages ainsi que sur leur impact sur les cycles de développement entomologique (Bourel *et al.*, 2001; Introna *et al.*, 2001; Lopes de Carvalho, 2010). Des méthodes de quantification des toxiques doivent être mises au point étant donné que l'extraction de ces substances permet à l'heure actuelle uniquement leur détection.

Le développement de l'entomologie forensique et l'intérêt qu'elle peut susciter ont conduit non seulement à une intensification des recherches mais aussi aux développements de nouvelles approches comme des détecteurs biologiques ou biodétecteur de composés chimiques. Un biodétecteur est un dispositif qui emploie des organismes biologiques pour surveiller la présence de divers produits chimiques dans un secteur particulier (Weetall, 1996). La méthode traditionnelle de détection des volatiles, qui est employée par la police, se base sur les capacités olfactives des chiens. Ce concept d'employer des chiens pour détecter certaines substances, n'est pas récent (Lasseter *et al.*, 2003; Harper & Furton, 2007; Oesterhelweg, 2008). Cependant, l'utilisation de ces chiens possède certaines limites telles que le coût de formation, une longue période d'apprentissage, etc.

Ainsi, les chercheurs se sont penchés sur l'utilisation d'autres biodétecteurs tels que les

insectes dans la détection de drogues et d'explosifs. On utilise déjà des Hyménoptères (*Apis mellifera* Linné 1758 et *Microplitis croceipes* Cresson 1872) pour détecter la présence d'explosifs (Olson *et al.*, 2003; Davis *et al.*, 2005; Tomberlin *et al.*, 2005; Rains *et al.*, 2008). Les drogues et autres substances chimiques (armes chimiques) peuvent également être signalées par les insectes. On les utilise également pour détecter et identifier la présence d'agents biologiques pathogènes tels que des micro-organismes, des virus ou des toxines (lutte contre le bio-terrorisme). Certains insectes servent à poser des diagnostics médicaux, ils peuvent détecter la présence de COVs spécifiques dans l'haleine, le sang ou l'urine du patient (tuberculose, cancers). Dans les domaines de la sécurité alimentaire (contrôle qualité sur fruits et légumes) et de la contrefaçon (tabac, alcool, *etc.*), les insectes sont des bio-détecteurs très efficaces (Inscintinel, 2009).

Déjà utilisés dans de nombreux domaines, pourquoi ne pas utiliser les insectes en sciences forensiques et plus particulièrement au service de la recherche des corps afin d'en faire de véritables "traceurs de cadavre". Une collaboration pluridisciplinaire avec le Disaster Victim Identification (DVI) de la Police Fédérale et l'Unité d'Entomologie fonctionnelle et évolutive a vu le jour dans cette optique.

5. CONCLUSION

Malgré plus de 150 ans d'existence, l'entomologie forensique est toujours considérée comme une discipline récente. Le potentiel de cette technique est pourtant énorme, tant par la fiabilité et la diversité des informations fournies (Gaudry, 2007). Actuellement, les résultats des expertises entomologiques ne concernent plus seulement la datation de la mort, la dissimulation d'un corps ou de son déplacement éventuel (Wyss & Cherix, 2006). Ils peuvent ainsi apporter des informations dans les cas d'abus et de négligences chez les enfants ou les personnes âgées. Les insectes sont également utilisés afin d'obtenir des informations sur les causes du décès ou sur l'identité des victimes, *etc.* (Benecke & Wells, 2001; Benecke, 2002; Amendt *et al.*, 2004; Gupta & Setia, 2004; Gomes *et al.*, 2006; Gennard, 2007).

Malgré ces progrès, les insectes nécrophages ont encore beaucoup de secrets à dévoiler à la justice

pour participer ainsi plus efficacement à la recherche et à la manifestation de la vérité.

Cependant, le challenge le plus important sera de combiner les données expérimentales et les cas pratiques. En raison des grandes diversités de cas, notamment au niveau des scènes de crimes, des facteurs biotiques et abiotique, une amélioration des connaissances existantes ne pourra être établie que par un plus grand nombre d'observations détaillées et mesurées *in situ* (Amendt *et al.*, 2004).

Bibliographie

- Amendt J., Campobasso C.P., Gaudry E., Reiter C., LeBlanc H.N. & Hall M.J.R. (2007). Best practice in forensic entomology - standards and guidelines. *International Journal of Legal Medicine* **121**(2), p. 90-104.
- Amendt J., Campobasso C.P., Goff L.M. & Grassberg M. (2010). *Current Concepts in Forensic Entomology*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 376 p.
- Amendt J., Krettek R. & Zehner R. (2004). Forensic entomology. *Naturwissenschaften* **91**, p. 51-65.
- Anderson G.S. (2001). Insect Succession on Carrion and its Relationship to Determining Time of Death. In J.L. Byrd and J.H. Castner (éds.), *Forensic Entomology: the Utility of Arthropods in Legal Investigations*, p. 143-175. CRC Press, Boston.
- Anderson G.S. (2009). Factors that Influence Insect Succession on Carrion. In J.L. Byrd and J.H. Castner (éds.), *Forensic Entomology: the Utility of Arthropods in Legal Investigations, Vol. 2*, p. 210-250. CRC Press, Boca Raton.
- Anderson G.S. (2010). Decompositional and Invertebrate Colonization of Cadavers in Coastal Marine. In J. Amendt, C.P. Campobasso, L.M. Goff & M. Grassberg (éds.), *Current concepts in Forensic Entomology*, p. 223-272. Springer, London.
- Archer M. & Elgar M. (2003). Effects of decomposition on carcass attendance in a guild of carrion-breeding flies. *Medical and Veterinary Entomology* **17**, p. 263-271.
- Avila F.W. & Goff L.M. (1998). Arthropod succession patterns onto burnt carrion in two contrasting habitats in the Hawaiian Islands. *Journal of Forensic Sciences* **43**, p. 581-586.
- Benecke M. (2001a). A brief history of forensic entomology. *Forensic Science International* **120**, p. 2-14.

- (2001b). Forensic entomology: The next step. *Forensic Science International* **120**(1-2), p. 1-1.
- (2004). Forensic entomology: Arthropods and Corpses. In M. Tsokos (éd.), *Forensic Pathology Reviews*, Vol. 2, p. 207-240. Humana Press, Totowa.
- (2009). Cases of Neglect Involving Entomological Evidence. In *Forensic Entomology - The Utility of Arthropods in Legal Investigations*, Vol. 2, p. 627-635 (Eds J. H. Byrd and J. L. Castner). Boca Raton, London, New York: CRC Press.
- Benecke M. & Lessig R. (2001). Child neglect and forensic entomology. *Forensic Science International* **120**, p. 155-159.
- Benecke M. & Wells D.J. (2001). DNA Techniques for Forensic Entomology. In J.L. Byrd and J.H. Castner (éds.), *Forensic Entomology: the Utility of Arthropods in Legal Investigations*, p. 341-352. CRC Press, Boston.
- Bergeret M. (1855). Infanticide, momification naturelle du cadavre. *Annal Hygiène Médicale et Légale* **4**, p. 442-452.
- Berthet J. (2006). *Dictionnaire de Biologie*. De Boeck & Larcier s.a., Bruxelles, 1034 p.
- Boehme P., Amendt J., Disney L.H.R. & Zehner R. (2010). Molecular identification of carrion-breeding scuttle flies (Diptera: Phoridae) using COI barcodes. *International Journal of Legal Medicine* **124**, p. 577-581.
- 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**(1), p. 27-34.
- Bourel B., Martin-Bouyer L., Hédouin V., Cailliez J. C., Derout D. & Gosset D. (1999). Necrophilous insect succession on rabbit carrion in sand dune habitats in northern France. *Journal of Medical Entomology* **36**, p. 420-425.
- Bourel B., Tournel G., Hedouin V., Deveaux M., Lee Goff M. & Gosset D. (2001). Morphine extraction in necrophagous insects remains for determining ante-mortem opiate intoxication. *Forensic Science International* **120**, p. 127-131.
- Braack L.E.O. (1986). Arthropods associated with carcasses in the northern Kruger National Park. *South African Journal of Wildlife Research* **16**, p. 91-96.
- Byrd J.H. & Castner J.L. (2000). *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C., 418 p.
- (2009). *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations*. CRC Press, Boca Raton, London, New York, 681 p.
- 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**, p. 210-214.
- Carter D.O., Yellowlees D. & Tibbett M. (2007). Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften* **94**(1), p. 12-24.
- Catts E.P. & Goff M.L. (1992). Forensic Entomology in Criminal Investigations. *Annual Review of Entomology* **37**, p. 253-272.
- Catts E.P. & Haskell N.H. (1990). *Entomology & Death: A procedural Guide*. Joyce's Print Shop, Inc, Clemson, 182 p.
- Davis J.H. (1992). Bodies in water. Solving the puzzle. *Journal of the Florida Medical Association* **79**(9), p. 630-631.
- Davis P.J., Wadhams L. & Baylis J.S. (2005). *Detection of odors using insects*. Patent: US2005009444. UK.
- Dekeirsschieter J., Boxot P. & Haubruge E. (2011). Comment déterminer au mieux le moment du décès et avec quelle fiabilité? In Arthemis (éd.), *Médecine légale à l'usage des juristes*, Louvain-la-Neuve, in press.
- DeVault T.L., Rhodes O.E. & Shivik J.A. (2003). Scavenging by vertebrates: behavioural, ecological, and evolutionary perspectives on an important energy transfer pathway in terrestrial ecosystems. *Oikos* **102**, p. 225-234.
- Drijfhout F.P. (2010). Cuticular Hydrocarbons: a new tool in forensic entomology? In J. Amendt, C.P. Campobasso, M. Lee Goff and M. Grassberger (éds.), *Current concepts in Forensic Entomology*, p. 179-203. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York.
- Druid H. (1997). Site of entrance wound and direction of bullet path in firearm fatalities as indicators of homicide versus suicide. *Forensic Science* **88**, p. 147-162.
- Dumser T.K. & Türkay M. (2008). Postmortem changes of human bodies on the bathyal sea floor—two cases of aircraft accidents above the open sea. *Journal of Forensic Sciences* **53**(5), p. 1049-1052.
- Gagliano-Candela R. & Avantaggiato L. (2001). The detection of toxic substances in entomological specimens. *International Journal of Legal Medicine* **114**, p. 197-203.
- Gaudry E. (2010). The insects Colonisation of Buried Remains. In J. Amendt, C. P. Campobasso, M. Lee

- Goff and M. Grassberger (éds.), *Current concepts in Forensic Entomology*, p. 273-311. Springer, London.
- Gaudry E., Dourel L., Chauvet B., Vincent B. & Pasquerault T. (2007). L'entomologie légale: Lorsque insecte rime avec indice. *Revue Francophone des Laboratoires* **392**, p. 23-32.
- Gennard D.E. (2007). *Forensic Entomology: an Introduction*. Ltd John Wiley & Sons, 224 p.
- 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**, p. 21-25.
- Giertson J.C. & Morild I. (1989). Seafaring bodies. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology* **10**(1), p. 25-27.
- Gilby A.R. & McKellar J.W. (1970). Composition of empty puparia of a blowfly. *Journal of Insect Physiology* **16**, p. 1517-1529.
- Gomes L. & Von Zuben C.J. (2006). Forensic entomology and main challenges in Brazil. *Neotropical Entomology* **35**(1), p. 1-11.
- Greenberg B. & Kunich J.C. (2005). *Entomology and the law. Flies as Forensic Indicators*. Cambridge University Press, Cambridge, 306 p.
- Guillhou J.J., Teot L. & Dereure O. (2003). Plaies et cicatrisations: La luciliathérapie. *Société Française et Francophone des Plaies et Cicatrisations*, Montpellier: Université Montpellier I.
- Gupta A. & Setia P. (2004). Forensic entomology: Past, Present and Future. *Aggrawal's Internet journal of Forensic Medicine and Toxicology* **5**(1), p. 50-53.
- Hall R.D. (2001). Introduction: Perceptions and Status of Forensic. In J. H. Castner and J. L. Byrd (éds.), *Forensic Entomology: the Utility of Arthropods in Legal Investigations*, p.1-16, CRC Press, Boston.
- Hall R.D. & Huntington T.E. (2009). Introduction: Perception and Status of Forensic Entomology. In J.H. Castner and J.L. Byrd (éds.), *Forensic Entomology: the Utility of Arthropods in Legal Investigations, Vol. 2*, p. 1-16. CRC Press, Boca Raton.
- Harper R.J. & Furton K.G. (2007). Biological detection of explosives. In J. Yinon (éd.) *Counterterrorist detection techniques of explosives, Vol. 1*, p. 395-431. Elsevier, Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo.
- Harvey M.L., Dadour I.R. & Gaudieri S. (2003). Mitochondrial DNA cytochrome oxidase I gene: potential for distinction between immature stages of some forensically important fly species (Diptera) in western Australia. *Forensic Science International* **131**, p. 134-139.
- Harvey M.L., Mansell M.W., Villet M.H. & Dadour I.R. (2003b). Molecular identification of some forensically important blowflies of southern Africa and Australia. *Medical and Veterinary Entomology* **17**, p. 363-369.
- Harvey M.L., Gaudieri S., Villet M.H. & Dadour I.R. (2008). A global study of forensically significant calliphorids: Implications for identification. *Forensic Science International* **177**, p. 66-76.
- 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. In W.D. Haglund and M.H. Sorg (éds.), *Forensic Taphonomy. The Postmortem Fate of Human Remains*, p. 415-448. CRC Press, New York.
- Hebert P.D.N., Cywinska A., Ball S.L. & deWaard J.R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **270**, p. 313-322.
- Inscentinel L. (2009). (<http://www.inscentinel.com/InscentinelLtd/Pages/introduction.html>; 25/11/2010).
- Introna F., Campobasso C.P. & Lee Goff M. (2001). Entomotoxicology. *Forensic Science International* **120**, p. 42-47.
- Klotzbach H., Krettek R., Bratzke H., Puschel K., Zehner R. & Amendt J. (2004). The history of forensic entomology in German-speaking countries. *Forensic Science International* **144**(2-3), p. 259-263.
- LaGoo L., Schaeffer L.S., Szymanski D.W. & Smith R.W. (2010). Detection of Gunshot Residue in Blowfly Larvae and Decomposing Porcine Tissue Using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). *Journal of Forensic Sciences* **55**(3), p. 624-632.
- Lasseter A.E., Jacobi K.P., Farley R. & Hensel L. (2003). Cadaver dog and handler team capabilities in the recovery of buried human remains in the south-eastern United States. *Journal of Forensic Sciences* **48**(3), p. 617-621.
- Leclercq M. (1978). *Entomologie et médecine légale. Datation de la mort*. Collection de Médecine légale et de Toxicologie médicale n° 108, Masson, Paris, 100 p.
- Leclercq M. & Brahy G. (1985). Entomologie et Médecine légale. Datation de la mort. *Journal de Médecine Légale Droit Médical* **28**, p. 271-278.
- Leclercq M. & Verstraeten C. (1993). Entomologie et Médecine légale: L'entomofaune des cadavres

- humains: sa succession par son interprétation, ses résultats, ses perspectives. *Journal de Médecine légale Droit Médical* **36**(3-4), p. 205-222.
- Lopes de Carvalho L.M. (2010). Toxicology and Forensic Entomology. In J. Amendt, C.P. Campobasso, M. Lee Goff and M. Grassberger (éds.), *Current concepts in Forensic Entomology*, p. 163-178. Springer, London.
- Lord W.D., Adkins T.R. & Catts E.P. (1992). The use of *Synthesiomyia nudesita* (Vanderwulp) (Diptera, Muscidae) and *Calliphora vicina* (Robineau-Desvoidy) (Diptera, Calliphoridae) to estimate the time of death of a body buried under a house. *Journal of Agricultural Entomology* **9**(4), p. 227-235.
- Malgorn Y. & Coquoz R. (1999). DNA typing for identification of some species of Calliphoridae: an interest in forensic entomology. *Forensic Science International* **102**, p. 111-119.
- Marchenko M. (1988). Medico-legal relevance of cadaver entomofauna for the determination of the time of death. *Acta Medical and Legal Society* **38**, p. 257-302.
- (2001). Medicolegal relevance of cadaver entomofauna for the determination of the time of death. *Forensic Science International* **120**, p. 89-109.
- Martinez E., Duque P. & Wolff M. (2007). Succession pattern of carrion-feeding insects in Paramo, Colombia. *Forensic Science International* **166**, p. 182-189.
- Megnin J.P. (1894). *La Faune des Cadavres, Application de l'Entomologie à la Médecine Légale*. Paris: Encyclopédie Science, 224 p.
- Merritt R.W., Snider R., de Jong J.L., Benbow M.E., Kimbirauskas R.K. & Kolar R.E. (2007). Collembola of the grave: A cold case history involving arthropods 28 years after death. *Journal of Forensic Sciences* **52**(6), p. 1359-1361.
- Midgley J.M. & Villet M.H. (2009). Development of *Thanatophilus micans* (Fabricius 1794) (Coleoptera: Silphidae) at constant temperatures. *International Journal of Legal Medicine* **123**, p. 103-108.
- 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**, p. 72-78.
- Nigam Y., Bexfield A., Thomas S. & Ratcliffe N.A. (2006). Maggot therapy: The science and implication for CAM - Part II - Maggots combat infection. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* **3**(3), p. 303-308.
- Nuorteva P. (1977). Sacrophagous Insects as Forensic Indicators. In: C.G. Tedeschi, W.G. Eckert, L.G. Tedeschi (éds.), *Forensic Medicine. A study in trauma and environmental hazards, Vol. II*, p. 1072-1095. Saunders, Philadelphia.
- O'Brien C. & Turner B. (2004). Impact of paracetamol on *Calliphora vicina* larval development. *International Journal of Legal Medicine* **118**, p. 188-189.
- Oesterhelweg L., Kröbber S., Rottmann K., Willhöft J., Braun C., Thies N., Püschel K., Silkenath J. & Gehl A. (2008). Cadaver dogs- A study on detection of contaminated carpet squares. *Forensic Science International* **174**, p. 35-39.
- Olson D.M., Rains G.C., Meiners T., Takasu K., Tertuliano M., Tumlinson J. H., Wackers F.L. & Lewis W.J. (2003). Parasitic wasps learn and report diverse chemicals with unique conditional behaviors. *Chemical Senses* **28**(6), p. 545-549.
- Parker M.A., Benecke M., Byrd J.H., Hawkes R. & Brown R. (2009). Entomological alteration of bloodstain evidence. In J.H. Castner and J.L. Byrd (éds.), *Forensic Entomology: the Utility of Arthropods in Legal Investigations, Vol. 2*, p. 539-580. CRC Press, Boca Raton.
- Pollak S. & Reiter C. (1988). Post mortem damage by maggots simulating gunshot wounds. *Archiv fur Kriminologie* **181**(5-6), p.146-154.
- Rainio J., Hedman M., Karkola K., Lalu L., Peltola P., Ranta H., Sajantila A., Söderholm N. & Penttilä A. (2001). Forensic osteological investigations in Kosovo. *Forensic Science International* **121**, p. 166-173.
- Rains G.C., Tomberlin J.K. & Kulasiri D. (2008). Using insect sniffing devices for detection. *Trends in Biotechnology* **26**(6), p. 288-294.
- Roeterdink E.M., Dadour I.R. & Watling R.J. (2004). Extraction of gunshot residues from the larvae of the forensically important blowfly *Calliphora dubia* (Macquart) (Diptera: Calliphoridae). *International Journal of Legal Medicine* **118**, p. 63-70.
- Roux O., Gers C. & Legal L. (2008). Ontogenetic study of three Calliphoridae of forensic importance through cuticular hydrocarbon analysis. *Medical and Veterinary Entomology* **22**(4), p. 309-317.
- Salazar J.L. (2006). Insectos de importancia forense en cadaveres de ratas, Carabobo-Venezuela. *Revista Peruana de Medicina Experimental* **23**, p. 33-38.
- Smith K.G.V. (1986). *A manual of forensic entomology*. London: British Museum (Natural History), 205 p.
- Stevens J. & Wall R. (2001). Genetic relationships between blowflies (Calliphoridae) of forensic

- importance. *Forensic Science International* **120**, p. 116-123.
- Swift B. (2006). The timing of death. In G.N. Ruty (éd.), *Essentials of Autopsy practice*, p. 189-214. Springer, London.
- Tabor K.L., Brewster C.C. & Fell R.D. (2004). Analysis of the successional patterns of insects on carrion in Southwest Virginia. *Journal of Medical Entomology* **41**, p. 785-795.
- Tomberlin J., Tertuliano M., Rains G. & Lewis W. (2005). Conditioned *Microplitis croceipes* Cresson (Hymenoptera: Braconidae) Detect and Respond to 2, 4-DNT: Development of a Biological Sensor. *Journal of Forensic Sciences* **50**(5), p. 1187-1190.
- 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**, p. 194-196.
- Turchetto M. & Vanin S. (2004). Forensic entomology and climatic change. *Forensic Science International* **146S**, p. S207-S209.
- (2010). Climate change and forensic entomology. In J. Amendt, C.P. Campobasso, M. Lee Goff and M. Grassberger (éds.), *Current concepts in Forensic Entomology*, p. 327-351. Springer, London.
- Wallman J.F. & Donnellan S.C. (2001). The utility of mitochondrial DNA sequences for the identification of forensically important blowflies (Diptera: Calliphoridae) in south-eastern Australia. *Forensic Science International* **120**, p. 60-67.
- Watson E. J. & Carlton C. E. (2005). Insect succession and decomposition of wildlife carcasses during fall and winter in Louisiana. *Journal of Medical Entomology* **42**, p. 193-203.
- Weetall H.H. (1996). Biosensor technology - What? Where? When? And Why? *Biosensors & Bioelectronics* **11**(1-2), p. R1-R4.
- Wells J.D. & Stevens J.R. (2008) Application of DNA-based methods in forensic entomology. *Annual Review of Entomology* **53**, p. 103-120.
- Wells J.D. & Stevens J.R. (2009). Molecular Methods for Forensic Entomology. In J.H. Castner and J.L. Byrd (éds.), *Forensic Entomology: the Utility of Arthropods in Legal Investigations, Vol. 2*, p. 437-452. CRC Press, Boca Raton.
- Wentworth P., Croal A.E., Jentz L.A., Eshghabadi M. & Pluck G. (1993). Water-related deaths in Brant County 1969-1992: a review of fifty-seven cases. *Canadian Society of Forensic Science* **26**(1), p. 1-17.
- Wilson-Wilde L., Norman J., Robertson J., Sarre S. & Georges A. (2010). Current issues in species identification for forensic science and the validity of using the cytochrome oxidase I (COI) gene. *Forensic Science Medicine and Pathology* **6**(3), p. 233-241.
- Wyss C. & Cherix D. (2006). *Traité d'Entomologie Forensique: Les insectes sur la scène de crime*. Presses Polytechniques et Universitaires romandes, Lausanne, 317 p.
- Ye G.Y., Li K., Zhu J.Y., Zhu G.H. & Hu C. (2007). Cuticular hydrocarbon composition in pupal exuviae for taxonomic differentiation of six necrophagous flies. *Journal of Medical Entomology* **44**(3), p. 450-456.
- Zhu G.H., Xu X.H., Yu X.J., Zhang Y. & Wang J.R. (2007). Puparial case hydrocarbons of *Chrysomya megacephala* as an indicator of the postmortem interval. *Forensic Science International* **169**(1), p. 1-5.
- Zhu G.H., Ye G.Y., Hu C., Xu X.H. & Li K. (2006). Development changes of cuticular hydrocarbons in *Chrysomya rufifacies* larvae: potential for determining larval age. *Medical and Veterinary Entomology* **20**(4), p. 438-444.

(101 réf.)