

***Aethina tumida* :**

Le petit coléoptère des ruches, une nouvelle peste pandémique menaçant l'apiculture et les colonies sauvages d'*Apis mellifera*

***Aethina tumida* :**

The small hive beetle, a recent pandemic pest threatening beekeeping and wild colonies of *Apis mellifera*

Laëtitia Maumin

Travail de fin d'études
présenté en vue de l'obtention du grade
de Médecin Vétérinaire

ANNÉE ACADÉMIQUE 2018/2019

Le contenu de ce travail n'engage que son auteur

***Aethina tumida* :**

Le petit coléoptère des ruches, une nouvelle peste pandémique menaçant l'apiculture et les colonies sauvages d'*Apis mellifera*

***Aethina tumida* :**

The small hive beetle, a recent pandemic pest threatening beekeeping and wild colonies of *Apis mellifera*

Laëtitia Maumin

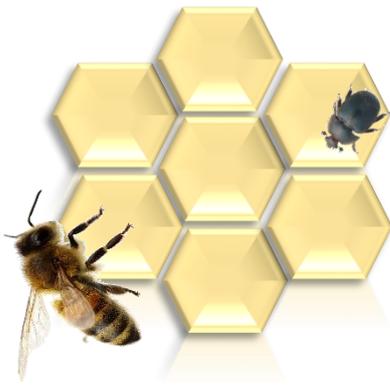
Tuteur : Professeur Claude Saegerman

Travail de fin d'études

présenté en vue de l'obtention du grade
de Médecin Vétérinaire

ANNÉE ACADÉMIQUE 2018/2019

Le contenu de ce travail n'engage que son auteur



***Aethina tumida* :**

Le petit coléoptère des ruches, une nouvelle peste pandémique menaçant l'apiculture et les colonies sauvages d'*Apis mellifera*

L'objectif de ce travail est de fournir une description détaillée de la biologie d'*Aethina tumida*, sa diffusion, ainsi que les mesures de diagnostic, de prévention et de contrôle sur base de la littérature tout en y apportant une analyse critique.

Alors considéré comme une peste mineure dans ses terres d'origine d'Afrique Sub-Saharienne, *Aethina tumida* a longtemps suscité peu d'intérêts pour que des recherches et études entomologiques soit menées en profondeur. Cependant cette tendance bascule considérablement suite à des introductions accidentelles de ce coléoptère dans diverses régions du monde, au travers des commerces nationaux et internationaux. Se faisant, couplé à des conditions environnementales et biologiques favorables, il ne fallut que peu de temps pour que ce petit coléoptère des ruches s'établisse et se diffuse à travers le monde. *Apis mellifera*, étant une sous-espèce européenne d'abeille à miel élevée à grande échelle dans l'apiculture, et se montrant bien plus sensible face à ce coléoptère que ses congénères vivantes dans les zones endémiques d'origine (*A.m.scutellata*), *Aethina tumida* constitue donc une menace sérieuse pour les régions apicoles et les commerces des produits dérivés qui en découlent. Son impact important, tant sur le plan biologique que sur le plan économique, a poussé les chercheurs à se pencher de manière plus approfondie sur ce spécimen et ce, afin d'apporter des éclaircissements aux problématiques suivantes :

Comment ce petit coléoptère des ruches se développe ? Quels sont les paramètres qui ont contribués à cette si rapide propagation d'*Aethina tumida* à travers le monde ? Comment anticiper, contrôler et endiguer cette diffusion ?



***Aethina tumida* :**

The small hive beetle, a recent pandemic pest threatening beekeeping and wild colonies of *Apis mellifera*

The aim of this work is to provide a detailed description of *Aethina tumida* biology, its spread, as well as diagnosis, prevention, control measures but based on a critical analysis of the most recent relevant literature.

Considered as minor pest in its native area in Sub-Saharan Africa, *Aethina tumida* aroused, for a long time, few interests and therefore, no extensive entomological studies and research has been developed. However, as a result of national and international trade activities, the beetle was accidentally introduced in various parts of the world and the interest among researchers in this species increased. Furthermore, the small hive beetle established itself across the world, wherever environmental and biological conditions were suitable. As *Apis mellifera* is a European honeybee species, farmed in large-scale beekeeping, which show much more susceptibility to this beetle than its congeners (*A.m scutellata*) living in the native endemic zone, *Aethina tumida* form a serious threat in apicultural areas and for the trade of derivative products. The above has had a important economic and biological impact which, in turn, has led researchers to study this specimen in greater detail in order to answer the following research questions:

How does the small hive beetle develop? What are the factors contributing to this fast spread of *Aethina tumida* throughout the world? How can we predict, control and contain this diffusion?

TABLE DES MATIERES

1. Le cycle biologique d'<i>Aethina tumida</i>	7
1.1. Cycle au sein des ruches/colonies d'abeille à miel.....	7
1.1.1. Du stade larvaire au stade adulte	7
1.1.2. Comportements du parasite et des abeilles	12
1.1.3. Comparaisons comportementales entre <i>Apis mellifera</i> et d' <i>A.m.adansonii</i>	18
1.1.4. Particularité des sous espèces d'abeilles australienne : <i>Trigona carbonaria</i> et <i>Austroplebeia australis</i>	21
1.2. Cycle en dehors des ruches/colonies d'abeille à miel.....	26
1.2.1. Sources de nourritures alternatives	26
1.2.2. Les installations d'apicultures	26
1.2.3. Hôtes alternatifs	27
2. Émancipation et diffusion du petit coléoptère des ruches	29
2.1 Dans la région endémique d'origine et pays adjacents	29
2.1.1. Afrique Sub-Saharienne	29
2.1.2 Égypte	29
2.2. Hors de l'Afrique et de l'Europe : des populations d' <i>Aethina tumida</i> bien établies ..	30
2.2.1. Amérique du Nord.....	30
2.2.2. Amérique centrale et Caraïbe	31
2.2.3. Canada.....	31
2.2.4. Australie	32
2.2.5. Asie	33
2.3. Cas de l'Europe : face à des risques d'invasions.....	33
2.3.1. Portugal : premier cas d'infestation officielle	33
2.3.2. Nouveaux cas d'infestations en Italie et en Sicile	34
2.3.3. Situation actuelle	37
2.4. Les causes de cette expansion mondiale	40

3. Mesures de contrôle et prévention.....	42
3.1. Diagnostique de présence d' <i>Aethina tumida</i>	42
3.1.1. Sur base des critères morphologiques	42
3.1.2. Techniques moléculaires d'identification.....	45
3.1.3. Diagnostic quantitative pour établir le niveau d'infestation.....	45
3.2. Les différents moyens de contrôle	45
3.2.1. Les mesures de prévention.....	46
3.2.2. Contrôle physique et mécanique	47
3.2.3. Contrôle chimique	51
3.2.4. Contrôle biologique	56
4. Conclusion	60
5. Bibliographie.....	61

1. LE CYCLE BIOLOGIQUE D'*AETHINA TUMIDA*

1.1 CYCLE AU SEIN DES RUCHES / COLONIES D'ABEILLES A MIEL

Aethina tumida est un coléoptère vivant en Afrique Sub-Saharienne faisant parti de la famille des Nitidulidae. Cette famille se nourrit principalement de fruits frais ou en décomposition, de champignons, de plantes, de charognes, de produits de récolte, de fleurs et de pollens. Cependant, il semble avoir un attrait particulier pour les sources de nourritures issues de l'activité des abeilles à miel. Il est supposé que ce coléoptère se soit tourné vers les colonies d'abeilles de façon opportuniste à tel point qu'aujourd'hui cette espèce « existe à la fois en tant que ravageur et en tant que symbiote dans les colonies de sous-espèces d'abeille à miel en Afrique » [Andrew G.S. Cutherston & co. ; 2013].

1.1.1. DU STADE LARVAIRE AU STADE ADULTE

Le cycle biologique d'*Aethina tumida* se subdivise en plusieurs phases :

Le stade adulte :

Ils mesurent en moyenne 5,7 mm de long et 3,2 mm de large. Cependant leur taille varie en fonction des conditions climatiques et de la quantité de nourriture disponible. Les femelles sont



(Figure 1)- *Aethina tumida* adulte
[Andrew G.S. Cuthbertson & co. ;
2013]

légèrement plus nombreuses que les mâles et sont également plus imposantes [William Michael Hood ; 2004].

La tête, le thorax et l'abdomen sont bien segmentés. Ils sont caractéristiques de par leurs antennes ayant une forme en club de golf et de leurs élytres étant plus courts que leur abdomen dont la fin s'en retrouve exposée [Neumann, Jeff S. Pettis & co ; 2016].

A ce stade, ce coléoptère se révèle être particulièrement actif et capable de voler sur plusieurs kilomètres à la recherche d'un hôte, autrement dit une ruche abritant une colonie d'abeille à miel. Cette aptitude à parcourir naturellement de telles distances leur assure une diffusion efficace. Ils ont tendance à avoir un pic d'activité avant ou après le crépuscule [William Michael Hood ; 2004], les mâles se mettant à voler plus précocement que les femelles [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013], et se déplacent ainsi de façon individuelle

ou occasionnellement en essaim [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. L'infestation d'une colonie d'abeille est favorisée si cette dernière présente un certain niveau de stress que le coléoptère est capable de détecter. Ce stress peut découler de divers facteurs, dont certains donnant lieu à un affaiblissement de la colonie elle-même : perte de la reine, pathologie(s), infection(s) ou infestation(s) par d'autres parasites (par exemple *V.destructor*), une source de nourriture insuffisante, un surpeuplement, les saisons, le transport de la ruche par l'apiculteur qui perturbe l'activité de l'essaim, etc. *Aethina tumida* est ainsi capable de détecter des colonies stressées sur une distance de 13 à 16 km [Vincenzo Palmeri & co ; 2014].

Une fois le nid détecté, le coléoptère adulte s'y introduit, et les femelles se mettent à pondre des œufs en grappe et de façon irrégulière, principalement dans des petites fissures difficilement accessibles pour les abeilles, ou bien dans le fond des alvéoles. Au stade initial de l'infestation, quand aucune larve n'est encore présente, les femelles vont favoriser la ponte au sein des fissures plutôt que dans les alvéoles. Dans le cas où celle-ci a lieu dans une alvéole, elle se fera plus favorablement dans celles contenant le pollen collecté [Peter Neumann et Patti J.Elzen ;

2004]. Le dépôt des œufs peut aussi se faire directement sur les couvains si les femelles ne sont pas endiguées par les abeilles ouvrières [William Michael Hood ; 2004]. En effet, à travers des expériences, les coléoptères ont été observés à mâcher la cire recouvrant les couvains pour ensuite pondre leurs œufs sur les nymphes d'abeille désormais sans défenses [William Michael Hood ; 2004]. Le nombre d'œuf qu'une



(Figure 2)-*Aethina tumida* adulte se déplaçant sur les couvains d'une ruche infestée [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ;2013]

seule femelle est capable de pondre peut s'élever de 1000 à 2000 environ au cours de sa vie.

Les œufs :



(Figure 3)- Œufs d'*Aethina tumida* [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013]

Les œufs d'*Aethina tumida* sont blanc nacré et mesure 1,4 mm de long et 0,26 mm de large [William Michael Hood ; 2004]. Ils atteignent comparativement 1/3 de la hauteur d'un œuf d'abeille [Neumann, Jeff S.Pettis & co ; 2016].

Le développement des larves au sein des œufs ainsi que leur éclosion dépendent grandement des conditions environnementales. En effet, des températures en dessous de

15°C ou supérieures à 45°C rendent ce processus impossible. De même, une humidité relative augmentée donne lieu à une réduction du taux d'éclosion. Lorsque les conditions sont favorables, « les œufs éclosent pour la majorité au bout de 3 jours, mais la durée d'incubation peut s'étendre jusqu'à 6 jours » [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013].

Le stade larvaire :



(Figure 4)- larve d'*Aethina tumida*
[Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013]

Les larves ont une large tête et une série de protubérances sur l'entièreté de leur corps [Vincenzo Palmeri & co ; 2014]. Elles possèdent 3 paires de pattes antérieures ainsi qu'une rangée d'épines latérales et dorsales sur chaque segment et 2 grandes épines caudales [Neumann, Jeff S.Pettis & co ; 2016]. Elles atteignent une longueur de 1 cm en moyenne une fois qu'elles sont complètement matures [William Michael Hood ; 2004].

Une fois sorties de leur œuf, les larves migrent rapidement vers leurs sources de nourritures : pollen, nectar, larves d'abeille, abeilles mortes. Elles peuvent aussi exprimer un comportement de cannibalisme en se nourrissant des œufs pondus par *Aethina tumida*, mais également d'autres larves et d'adultes de sa propre espèce, mortes ou vivantes, en particulier dans un contexte qui les mettent en compétition pour se nourrir [Neumann, Jeff S.Pettis & co ; 2016]. A mesure que les larves se nourrissent des ressources de la colonie, elles défèquent à travers le nid et cette combinaison de miel contaminé et de matières fécales peut entraîner la fermentation du contenu de la ruche [Megan Halcroft & co ; 2011]. Alors que la forme adulte de ce coléoptère n'a qu'un impact mineur sur l'intégrité du nid, la forme larvaire est, quant à elle, associée à des dommages sévères qui peuvent avoir pour conséquence l'effondrement complet de la ruche [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

Ce stade larvaire dure environ une quinzaine de jours. Cependant le temps de développement des larves est corrélé avec les conditions environnementales (accessibilité à une source de nourriture, température, humidité, etc...). Ainsi, lorsque les conditions sont favorables, leur développement s'en retrouve accéléré et deviennent complètement mature en l'espace de 5 à 6 jours [William Michael Hood ; 2004].



(Figure 5)- larves matures de taille différentes due à une accessibilité inégale à une source de nourriture [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013]

« La taille de la larve mature est variable : les petites larves

avec une alimentation appauvrie mature plus lentement que les plus grandes » [William Michael Hood ; 2004].

Une fois bien nourries et leur maturité atteinte, les larves entament alors une phase dite « d'errance » au cours de laquelle elles délaissent les sources de nourriture, quittent la colonie, et cherchent à atteindre le sol pour entamer la phase suivante de leur cycle biologique : la nymphose. Elles se déplaceront préférentiellement au crépuscule, à la recherche de substrats adéquats pour que le stade nymphal se déroule le plus favorablement possible. « Ces larves errantes sont capables de survivre pendant 48 jours après avoir cessé de se nourrir » [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013]



(Figure 6)- larves d'*Aethina tumida* creusant le sol pour débiter leur nymphose [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013]

Le stade nymphal :

Les larves sont capables de parcourir plusieurs centaines de mètres pour creuser dans un sol adéquat [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Elles creusent, pour la plupart, verticalement à



(Figure 7)- pupa d'*Aethina tumida* [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]

une profondeur de 10 cm ou juste en dessous de la surface du sol. Cette préférence pour les couches superficielles est surtout due à la présence de débris ou de matières organiques en décomposition qui facilite grandement la creusée et l'émergence des formes adultes par la suite [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Toutefois, si les conditions de surface ne sont pas favorables, les larves peuvent être amenées à creuser le sol plus profondément [Baldwyn Torto & co. ; 2010].

Les pupes sont blanc crème à marron clair et mesurent environ 5mm de long [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

Aethina tumida passe ainsi 75% de son développement enfoui sous terre [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013]. C'est en effet une étape qui peut s'étendre de 2 semaines à 2 mois, et la durée à laquelle s'étale cette période dépend de plusieurs facteurs environnementaux pouvant affecter significativement l'aboutissement de ce stade :

-La densité du sol : les larves préfèrent atteindre les sols moins compacts [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Plus le sol est dense, plus la nymphose est impactée négativement.

-La température : des températures basses prolongent la durée de ce stade.

-L'humidité : des sols trop humides diminuent les chances de développement des nymphes. Les larves ont d'ailleurs tendance à creuser plus profondément durant les saisons humides. A l'inverse, des sols trop secs et arides semblent aussi contraindre le développement des nymphes. C'est d'ailleurs l'une des raisons pour laquelle ce coléoptère n'est pas un problème majeur en Afrique Sub-Saharienne, puisque les sols de cette zone endémique sont principalement arides et semi-arides [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013]. Cependant, la nymphose peut malgré tout avoir lieu dans tous les types de sol [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]

-Le taux de moisissure : *Aethina tumida* montre une certaine sensibilité à certaines moisissures et peut en être particulièrement affecté selon la quantité présente dans le sol [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013].

Autrement dit, les sols sableux voir argileux, et chauds, constituent des conditions les plus adaptées au développement des nymphes. Les femelles semblent être plus résistantes que les mâles face aux facteurs de l'environnement.

Plus tard, les nouveaux adultes émergent du sol, deviennent apte à se reproduire la semaine qui suit cette émergence [William Michael Hood ; 2004], et se lancent à la recherche d'un hôte, complétant ainsi le cycle biologique. La colonie ayant été infestée par les prédécesseurs peut de nouveau servir d'hôte aux nouveaux adultes naissants. Au total, le développement des œufs jusqu'au stade adulte prendra environ 4 à 6 semaines, et il peut y avoir jusque 6 générations d'*Aethina tumida* en 1 an si les conditions sont favorables [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

La recherche de l'hôte par la nouvelle génération d'*Aethina tumida* peut être facilitée par la détection olfactive de substances volatiles, portées par les abeilles ouvrières, le pollen fraîchement collecté, le miel et la cire [William Michael Hood ; 2004]. La formation de ces composés provient d'un processus de fermentation du miel dans les alvéoles. Autrement dit, ces substances proviennent d'une ruche subissant déjà une infestation massive d'*Aethina tumida* [Clarence Collison ; 2013]. En effet, « les agrégations par des phéromones ont été décrites pour une variété d'espèce de Nitidulidae » [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004] où leurs productions a lieu au niveau des cavités corporelles du coléoptère. Des observations ont montré que les mâles infestent les colonies d'abeille avant les femelles, laissant suggérer que les phéromones sont produites par les mâles et ont un effet attractif pour les deux sexes. Il y aurait par ailleurs un effet synergique entre l'odeur de la nourriture et ces phéromones [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Ces substances volatiles n'ont cependant pas encore été identifiées.

D'autre part, des chercheurs sont parvenus à isoler une espèce de levure, *Kodamaea ohmeri* qui n'est pas associée à la fermentation du miel mais qui se développe et prolifère dans les alvéoles contenant du miel et infestées par le coléoptère. Le développement de cette levure entraîne la production d'autres substances volatiles qui ont aussi tendance à attirer des formes adultes d'*Aethina tumida* [Clarence Collison ; 2013]. On ignore cependant si ce sont les coléoptères ou les abeilles mellifères qui sont à l'origine de l'introduction de *K.ohmeri* au sein de la ruche [Clarence Collison ; 2013].

De ce fait, l'attrait d'*Aethina tumida* pour une colonie n'est pas uniquement influencé par le niveau de stress ou la taille de cette dernière, ni seulement par la quantité des réserves de nourriture collectées, il y a également tout un cocktail olfactif jouant un rôle d'attractant qui entre en ligne de compte.

1.1.2.COMPORTEMENTS INTERACTIONNELS ENTRE LE PARASITE ET LA COLONIE

L'intrusion d'*Aethina tumida* chez un hôte ainsi que le succès de sa reproduction massive est l'aboutissement d'une confrontation solide entre ce parasite des ruches et les abeilles qui l'habitent. Les deux camps mettent en effet tous les moyens en œuvre pour parvenir à leurs fins : la reproduction et l'augmentation de la population pour l'un (entraînant fermentation du miel, mort de la couvée et des abeilles et destruction des alvéoles), la protection de l'habitat et des réserves de nourriture pour l'autre, chacun étant déterminé à survivre.

Les stratégies d'invasion d'*Aethina tumida* :

-Une posture de défense : lorsque le coléoptère adulte se sent menacé ou attaqué par les abeilles, il adopte une posture de défense dite « de tortue » au cours de laquelle il reste immobile, rentre sa tête sous son pronotum avec ses pattes, et presse ses antennes fortement contre son corps [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

-La fuite : le coléoptère se déplace rapidement et tire profit de cette habilité pour distancer et semer ses assaillantes [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]

-Les « chutes » : *Aethina tumida* peut tomber délibérément du couvain et se retrouver sur le plancher de la ruche dans le but d'échapper à sa poursuite [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

-Se cacher : Le coléoptère profite de sa petite taille par rapport aux abeilles de la colonie pour se frayer un chemin dans le fond des alvéoles, ou des petites fissures, qui sont difficilement accessibles pour les ouvrières. *Aethina tumida* reste ainsi immobile pendant un certain laps de temps, ou se déplace uniquement pour passer d'une cachette à une autre [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004], une méthode qui garantit à la fois sa progression et sa protection.

-Cannibalisme : nous avons vu précédemment que ce comportement était exprimé par les larves envers ses congénères, quel que soit leur stade de développement, si elles se retrouvent dans une situation de compétition pour la nourriture. Ce comportement peut également se retrouver parmi les adultes dans des conditions similaires, notamment lorsqu'ils sont enfermés à plusieurs par les ouvrières. Ne pouvant pas compter sur ses faibles réserves métaboliques, qui ne les feraient pas survivre plus de deux semaines sans s'alimenter, les coléoptères peuvent alors se nourrir de leurs congénères prisonniers avec eux, permettant leur survie sur le long terme qui peut ainsi s'étendre à 2 mois voir plus [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

-Imitation : certains coléoptères ayant été capturés puis emprisonnés dans de la propolis par les ouvrières se sont vu imiter le comportement de trophallaxie des abeilles afin que ces dernières régurgitent leurs nourritures, leur permettant ainsi de se repaître. En effet, le coléoptère emprisonné s'approche des gardes qui surveillent sa geôle, étend sa tête afin d'établir un contact via ses antennes avec elles. Le plus souvent, les ouvrières répondent par de l'agression, mais après plusieurs tentatives, il arrive qu'elles finissent toutefois par être dupé et régurgitent de la nourriture, permettant ainsi la survie à long terme du coléoptère et ce, même si ce dernier est emprisonné [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]



(Figure 8)- *Aethina tumida* sollicitant de la nourriture à une abeille ouvrière [William Michael Hood ; 2015]

- "Sit-and-wait strategy" : l'une des stratégies garantissant le plus la réussite de la reproduction massive d'*Aethina tumida* au sein d'une colonie est sa capacité à se montrer patiente et attendre le moment le plus opportun pour déposer ses œufs. En effet, les femelles ne produisent pas un nombre indéfini d'œufs, « il apparaît adaptatif de limiter la reproduction à des fenêtres de temps/opportunités » [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016] . Par conséquent, elles pondent lorsque les conditions sont les plus favorables, autrement dit lorsque la colonie devient fragile, pour garantir à leurs progénitures les meilleures chances de survie. Les causes possibles amenant à un affaiblissement d'une colonie d'abeille ont été abordées dans le point 1.1.1. De plus, « les femelles adultes vivent assez longtemps pour être physiquement capable d'attendre l'évènement compromettant la colonie » [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Ainsi, si les

ressources de nourriture dans la ruche sont abondantes, *Aethina tumida* peut se permettre de patienter et rester inactif pendant une longue durée, s'étalant sur des mois, avant de déposer ses œufs.

-La quantité d'œuf produit : cette stratégie va de pair avec la précédente pour optimiser au maximum, et de façon synergique, le succès de la reproduction massive du petit coléoptère des ruches. En effet, lorsque la femelle voit sa patience récompensée, elle pond rapidement une grande quantité d'œufs si bien qu'en l'espace de 24 heures, cette production peut atteindre 69 ± 15 œufs par femelle [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

On voit donc que tous ces moyens stratégiques confèrent à *Aethina tumida* la possibilité de semer rapidement ses poursuivantes, de patienter dans des sites inaccessibles à la colonie et de pondre en quantité importante dans un intervalle de temps réduit et ce, en vue de garantir une augmentation massive de la population.

Les tactiques de défense de la colonie :

Les abeilles adoptent des comportements de défense du nid différents en fonction du stade du cycle auquel *Aethina tumida* se situe.

A l'encontre des œufs, les observations des abeilles ouvrières d'Afrique (*A.m.scutellata*) ont montré que ces dernières réagissent en enlevant les œufs de la ruche. En général, 66% des œufs non protégés sont enlevés dans les 24h et seuls ceux pondus dans des fissures présentent le plus de chances d'éclosion, par souci d'accessibilité [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

En ce qui concerne les larves, les abeilles peuvent adopter principalement les stratégies suivantes :

-Le retrait des larves du nid.

-Le port de ces dernières à distance du nid, pouvant aller jusqu'à 20 mètres

-Des comportements d'agressions en vue de tuer les larves. Des sortes de « bras-de-fer » entre deux abeilles portant chacune une même larve, qui finit par être mise en pièce, ont également pu être observés [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]

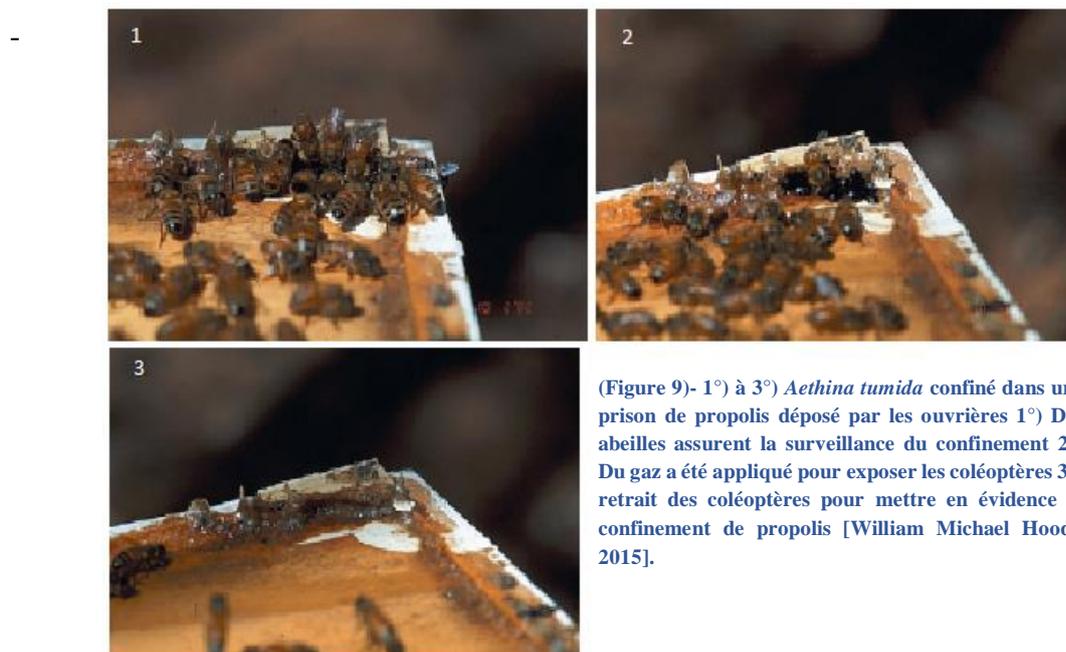
Cependant, c'est particulièrement envers les coléoptères adultes que les abeilles abordent des mécanismes de défense plus variés :

-Surveillance de l'entrée : les colonies d'abeilles ont des gardes spécialisés à cette fin et qui ont pour rôle de scruter prudemment les individus entrants dans le nid. Cela n'empêche pas malgré

tout à certains adultes de s'introduire impunément dans la ruche. Néanmoins, cette stratégie permet de réduire potentiellement le nombre d'*Aethina tumida* entrant [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

-Agressions : des abeilles tentant de mordre ou de piquer les coléoptères adultes ont été observées, se résolvant le plus souvent par un faible succès. Cette difficulté s'explique d'une part par la dureté de l'exosquelette du coléoptère, d'autre part par la posture de défense que ce dernier peut exprimer. Dans de rares cas, les abeilles peuvent parvenir à décapiter des adultes ou à sectionner des segments de leurs extrémités avant de les jeter hors du nid. En dépit de la faible efficacité de cette tactique, elle contribue malgré tout à une forme de résistance des abeilles à l'encontre de leurs envahisseurs [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

-Encapsulation : parfois les abeilles parviennent à piéger des coléoptères adultes dans des lieux spécifiques du nid, les empêchant ainsi de se déplacer librement jusqu'au couvain. A partir de ce moment, les abeilles vont entamer le processus d'encapsulation visant à enfermer un ou plusieurs coléoptères en même temps. Il s'agit là d'une tactique assez élaborée au cours de laquelle des ouvrières vont empêcher le(s) coléoptère(s) de s'échapper pendant que d'autres ajoutent progressivement de la propolis sur ce(s) dernier(s) et ce, jusqu'à être entièrement confiné et incapable de se déplacer. Par la suite, certaines ouvrières continuent de garder le confinement à moitié ouvert jours et nuits, et attaquent le(s) coléoptère(s) enfermé(s) si ce(s) dernier(s) s'approchent trop près de l'entrée/sortie de leur prison, garantissant ainsi une protection optimale du nid [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

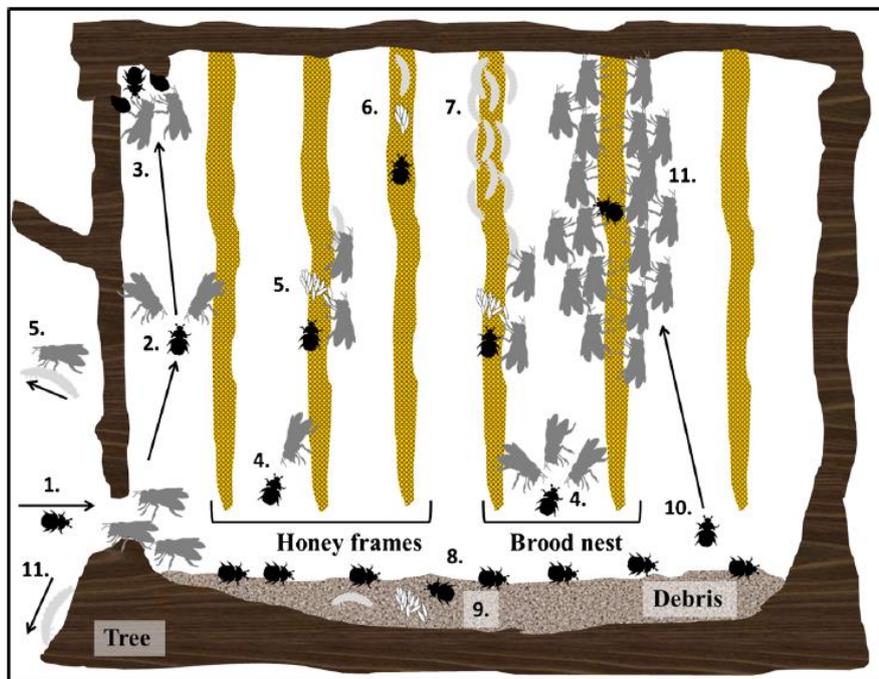


Patrouille : ce comportement est particulièrement bien exprimé dans la partie où se trouve le

couvain, mais beaucoup moins au dehors de cette zone, Cette stratégie est d'autant plus efficace si la colonie est de grande taille puisqu'il y aurait davantage d'abeilles pour surveiller cette parcelle du nid. Les abeilles sont ainsi capables d'empêcher l'intrusion d'*Aethina tumida* dans cette zone simplement en la surveillant, il en résulte ainsi un faible nombre de coléoptères parvenant sur les couvains au sein des grandes colonies. Toutefois, tout évènement donnant lieu à une diminution de la population de la colonie, rend cette mesure de protection du couvain moins efficace [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

-Agrégation des ouvrières et retrait des alvéoles : une stratégie du coléoptère visant à profiter de sa petite taille pour se cacher au fond des alvéoles a été précédemment décrite. Une réponse adaptative peut être exprimée par les ouvrières de la colonie, surtout chez *A.m.scutellata* et *A.m.capensis*, et qui consiste à s'agréger rapidement autour des alvéoles suspectes et en retirer le contenu: miel, pollen, jusqu'à celles abritant le couvain Et ceci, dans le but d'accéder au coléoptère qui s'y est abrité. Elles restent ainsi très agitées tant que le parasite n'a pas été retiré [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

A partir des stratégies exprimées par l'une et l'autre espèce, il a été possible d'établir un schéma typique d'invasion d'une ruche par *Aethina tumida*. Une infestation par ce petit coléoptère des ruches est ainsi le fruit d'une succession d'étapes :



(Figure 10)- Vue d'ensemble schématique de l'infestation d'un nid d'abeilles à miel par *Aethina tumida* [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]

1°) *Aethina tumida* tente d'entrer dans la ruche et se confronte aux gardes, qui constituent la première ligne de défense du nid [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

2°) Le coléoptère est entré et erre au sein de la ruche [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

3°) Repéré puis attaqué et poursuivi par les abeilles, *Aethina tumida* adopte sa stratégie de fuite et de cachette. C'est aussi à cette phase que l'on observera les ouvrières établir des confinements au propolis après avoir piégé l'intrus [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

4°) Ayant survécu aux précédentes étapes, les femelles tentent de s'introduire dans les alvéoles à miel ou celles protégeant le couvain afin de s'y nourrir et de se reproduire. Elles peuvent être interceptées par les abeilles qui patrouillent la zone, ces dernières constituant la seconde ligne de défense [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

5°) Le coléoptère « by-pass » les patrouilles des ouvrières et dépose ses œufs dans les alvéoles, fissures ou encore les couvains. C'est notamment durant cette phase qu'il peut délibérément se laisser tomber pour échapper à la poursuite de ses assaillantes. Les abeilles réagissent en transportant et/ou tuant les œufs et larves qu'elles détectent et constituent ainsi la troisième ligne de défense. Cependant il y a des zones au sein desquelles les œufs d'*Aethina tumida* pondus restent inaccessible pour les abeilles [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

6°) Les coléoptères piégés à plusieurs dans un confinement de propolis peuvent malgré tout se reproduire s'ils ont assez d'espace [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

7°) Echec de la défense de la colonie : il en résulte une reproduction massive et destructrice d'*Aethina tumida*. Les tactiques employées par les abeilles n'ont pas été suffisantes pour endiguer l'infestation, si bien qu'un nombre important d'œufs ont fini par éclore, libérant les larves qui causent des dommages importants à l'intégrité du nid. Cela peut finir par aboutir à un effondrement complet de la ruche et de la colonie [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

8°) et 9°) Parallèlement, la majorité des coléoptères adultes se retrouve dans le fond du nid, se nourrissant et se reproduisant dans les débris [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

10°) et 11°) *Aethina tumida* peut profiter de la protection qu'offre la ruche du climat extérieur pour s'y abriter durant l'hiver. Le coléoptère tire profit de la chaleur libérée par les abeilles agglomérées pour résister au froid. [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]

1.1.3. COMPARAISONS COMPORTEMENTALES ENTRE *APIS MELLIFERA* ET SOUS-ESPÈCES AFRICAINES *A.M.SCUTELLATA* ET *A.M.CAPENSIS*

En dehors de l'Afrique, *Aethina tumida* est un ravageur provoquant des dommages significativement importants chez les abeilles sauvages mais aussi parmi les apiculteurs, occasionnant des pertes économiques considérables. Pourtant, il est considéré comme étant une peste tout à fait mineure dans sa zone endémique d'origine en Afrique Sub-Saharienne, son impact en tant que parasite étant minimal. Ce paradoxe a soulevé bien des interrogations : Pour quelle(s) raison(s) les dommages causés par ce petit coléoptère des ruches ne sont-ils pas aussi importants dans ses terres d'origine que dans les autres continents où il s'est diffusé ?

Cette question s'explique en partie par le fait qu'en dehors de l'Afrique, la sous-espèce d'abeille à miel rependue à grande échelle en apiculture est *Apis mellifera*. Or, dans la zone endémique d'origine, on retrouvera surtout des sous-espèces d'abeilles africaines, dont *Apis mellifera scutellata* et *A.m.capensis*. N'appartenant pas à la même sous-espèce, des différences non négligeables en résulte, notamment sur le plan comportemental. Ce qui a pour conséquence d'influencer grandement les risques d'infestation par *Aethina tumida*.

En l'occurrence, les sous-espèces d'abeilles africaines se montrent bien plus agressives et ont plus de contacts envers les coléoptères adultes que leurs congénères européennes [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

D'autre part, bien que toute deux expriment le comportement d'encapsulation, on a une utilisation plus abondante de propolis par les sous-espèce africaines, rendant ainsi cette stratégie de défense plus efficace [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. En effet, le nombre de confinements par colonie et le nombre de coléoptères emprisonnés sont plus important chez ces dernières. Il a été rapporté que *Apis mellifera* utilise quatre fois moins de propolis que les colonies africaines [William Michael Hood ; 2004]. Par ailleurs, en dépit du fait que les ouvrières européennes surveillent les confinements sur une plus longue durée, l'agressivité apparente des abeilles africaines envers *Aethina tumida* permet de maintenir une plus grande efficacité en empêchant les coléoptères de s'échapper ; elles n'ont donc pas besoin de surveiller les prisons de propolis aussi longtemps que les européennes [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

Ces premières comparaisons démontrent une meilleure résistance d'*A.m.scutellata* et d'*A.m.capensis* vis-à-vis d'*Aethina tumida* par rapport à *Apis mellifera*.

Une autre distinction majeure accentuant davantage la frontière entre ces sous-espèces repose sur le fait que les essaims d'abeilles africaines manifestent un comportement typique, qui consiste en une grande mobilité de la colonie toute entière. En effet, ces dernières sont plus enclines à abandonner le nid, avec ou sans la reine, en laissant derrière elles les couvains et les réserves de nourriture [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Ce phénomène peut être induit par divers facteurs tels que la prédation, de sévères perturbations de l'essaim, le déclinement de la qualité de la ruche et/ou des alvéoles, ainsi que la présence de parasites [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Il a été démontré d'ailleurs que les colonies d'abeilles africaines peuvent tolérer de grandes infestations d'*Aethina tumida* sans pour autant provoquer de grands effets sur la ruche. Les grandes colonies des sous espèces africaines peuvent en effet reporter ou empêcher la reproduction massive du coléoptère des ruches et ce, même si elles sont extrêmement infestées. Pourtant, elles peuvent tout de même abandonner le nid en réponse à une infestation [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Cette contradiction s'explique surtout par le fait que des invasions extrêmes par *Aethina tumida* peuvent impliquer sur le long terme une réduction de la qualité de la colonie, la fermentation du miel, ainsi que la destruction partielle du nid. Étant donné que l'infestation est continue et qu'elle maximise la pression de prédation, l'abandon de la ruche par la colonie en est alors stimulé [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Bien que, de prime abord, *Aethina tumida* disposerait alors du nid entier pour se nourrir et se reproduire, avec ses réserves abondantes de nourriture et des couvains désormais non protégés, l'agrandissement de la population n'en n'est pas toujours garanti pour autant puisque d'autres insectes peuvent exploiter le nid et son contenu, donnant lieu à une grande compétition pour les sources de nourriture [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

D'autre part, les sous-espèces d'abeilles africaines sont capables de réaliser des migrations en suivant un profil saisonnier ; elles ont surtout tendance à migrer durant la saison des pluies et ce, indépendamment des activités du petit coléoptère des ruches [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Il pourrait aussi s'agir là d'une belle opportunité pour *Aethina tumida*, qui aurait alors toutes les chances de son côté pour une reproduction massive fructueuse. Mais la réalité en est toute autre car toute forme de mouvement de la colonie donne lieu à une rupture du cycle biologique du coléoptère, réduisant par conséquent son niveau d'infestation [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Alors que les abandons de nids et les migrations peuvent toutes deux interrompre le cycle biologique d'*Aethina tumida*, il semblerait que les phénomènes de mobilité saisonnières apportent davantage d'impacts sérieux sur ce petit coléoptère des ruches, car beaucoup moins de substrats sont laissés par la colonie [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

A l'instar des sous-espèces africaines, *Apis mellifera* est beaucoup moins mobile, l'abandon et la fusion à une autre colonie en réponse à une infestation d'*Aethina tumida* est bien moins fréquente [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]

Le fait même que les sous-espèces d'abeilles africaines sont plus enclines à abandonner leur nid par rapport aux européennes constitue une autre raison expliquant une meilleure résistance de ces premières face à la sévérité de la peste d'*Aethina tumida*.

D'autre part, *Apis mellifera* exprime également de son côté un comportement spécifique qu'on ne retrouve pas chez ses congénères africaines, notamment dû aux conditions climatiques qui diffèrent. En effet, ces sous-espèces européennes font de leur ruche un abri d'hiver afin de survivre à des conditions de températures froides sur de longues périodes [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Cela va de pair avec le fait que ces colonies migrent très peu. Cependant, sur le niveau de résistance contre *Aethina tumida*, cette manœuvre ne va pas à leur avantage, au contraire, puisque ce coléoptère des ruches a tiré profit de ce comportement pour pouvoir s'abriter et profiter de la chaleur générée par l'agglomération des ouvrières, lui permettant ainsi de survivre à l'hiver. Par conséquent, en dépit de ses origines tropicales, *Aethina tumida* a pu s'adapter ainsi aux régions tempérées et s'y diffuser [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

Ces données comparatives mettent bien en évidence un contraste significatif entre *Apis mellifera* et les sous-espèces d'abeilles africaines, particulièrement sur base de leur comportements défensifs. Ces différences expliquent en partie la raison pour laquelle les infestations d'*Aethina tumida* sont bien moins fréquentes dans les grandes colonies africaines, qui manifestent une plus forte résistance. En effet, dans les régions endémiques d'origine, *Aethina tumida* parvient à une reproduction massive principalement dans des nids qui étaient déjà affaiblis avant son arrivée. Les sous-espèces d'abeilles européennes, au contraire, témoignent d'une bien plus grande sensibilité à *Aethina tumida*. En contraste avec ses congénères africaines, même les grandes colonies d'*Apis mellifera* peuvent être submergées et tuées par le coléoptère des ruches, qu'elles soient affaiblies ou non, et ce, dans les deux semaines qui suivent le début de l'infestation [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Il semblerait d'ailleurs que les ravageurs n'aient même pas besoin d'attendre des fenêtres de temps/opportunités pour se reproduire et déposer leurs œufs [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. De cette manière, elles souffrent de plus grands dommages suites aux infestations et s'effondrent bien plus souvent, menaçant donc la reproduction de ces abeilles [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013]. En l'occurrence, *Apis mellifera* manque de mécanismes de défense

et par conséquent, *Aethina tumida* constitue une sérieuse menace [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

En somme, les sous-espèces d'abeilles africaines et européennes expriment de nombreux efforts différents sur le plan comportemental, et cela constitue l'un des principaux facteurs contribuant à la différence d'impact du coléoptère entre ses terres d'origines et les régions où il s'est récemment diffusé.

1.1.4.PARTICULARITE DES SOUS ESPECES D'ABEILLES AUSTRALIENNE : *TRIGONA CARBONARIA* ET *AUSTROPLEBEIA AUSTRALIS*

Des abeilles mellifères australiennes (« stingless bee »), et en particulier *Trigona carbonaria* et *Austroplebeia australis*, ont suscité un certain intérêt de par le fait que ces sous-espèces se rapprochent beaucoup d'*Apis mellifera*, et pourtant elles se montrent bien plus efficaces pour se défendre face à *Aethina tumida*. D'autant que les coléoptères des ruches retrouvés en Australie ne sont pas génétiquement différents de ceux qui se sont diffusés aux États-Unis [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Des études ont été réalisées sur ces sous-espèces dans le but de comprendre ce qui a empêché la diffusion d'*Aethina tumida* pendant longtemps dans les territoires australiens alors qu'elles partagent beaucoup de similitudes avec les colonies européennes, supposées plus sensibles.

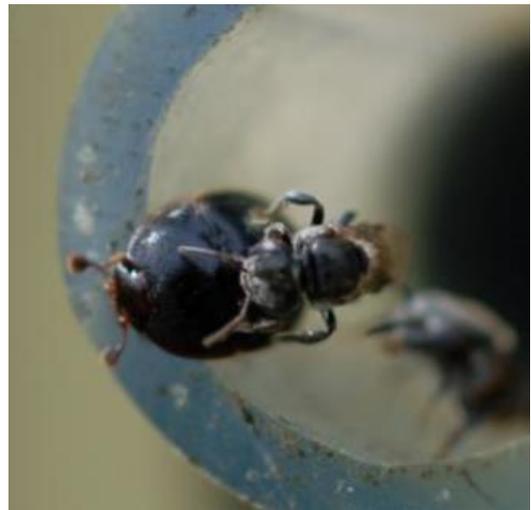
Megan Halcroft et ses collaborateurs ont réalisé des expériences de laboratoire avec *Austroplebeia australis*, en infestant des ruches avec les différents stades du cycle d'*Aethina tumida*, et ont étudié le comportement défensif de ces colonies australiennes face à chacune de ces étapes.

Suite à l'introduction des œufs d'*Aethina tumida* dans les ruches d'*A.australis*, les ouvrières ont montré des comportements similaires à ceux d'*Apis mellifera* via le retrait des œufs du nid, ou en les consommant [Megan Halcroft & co ; 2011]. Mais elles ont aussi exprimé des comportements qui leur étaient propres. En effet, une fois les œufs découverts, ils étaient inspectés pendant quelques secondes avant d'être détruits : certains œufs étaient immédiatement consommés pendant que d'autres étaient engloutis dans de la résine. Simultanément, d'autres ouvrières apportaient des fortifications pour le nid [Megan Halcroft & co ; 2011]

Les stratégies de défense de ces sous-espèces australiennes face à l'introduction de larves d'*Aethina tumida* étaient de nouveau similaires à celles d'*Apis mellifera*. En effet, elles consistaient principalement en un retrait des larves portées à l'extérieur du nid ou par une mise en pièce de ces dernières. Parallèlement à cela, des ouvrières ont apporté des fortifications au nid [Megan Halcroft & co ; 2011].

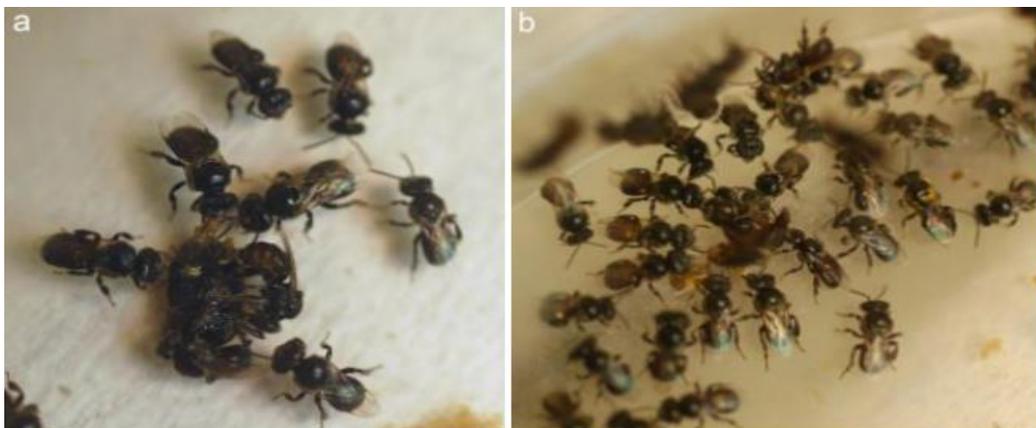
C'est surtout suite à l'introduction des coléoptères adultes que des comportements spécifiques à ces colonies d'abeilles ont été abordés, et qui diffèrent d'*Apis mellifera*. Les stratégies de défenses suivantes ont donc été observées :

-Chevauchement : « contrairement à *A.mellifera*, ces sous-espèces d'abeilles australiennes ne comptent pas sur leur dard pour défendre la colonie contre les intrus » [Megan Halcroft & co ; 2011]- Au lieu de ça, nombreuses sont les ouvrières à attaquer *Aethina tumida* en les chevauchant et ce, même si ces derniers tentent de fuir la ruche. Malheureusement, ces abeilles sont facilement délogées lorsque les coléoptères se précipitent dans des fissures présentes dans le nid [Megan Halcroft & co ; 2011]. Cependant, la petite taille relative à cette sous-espèce leur permet d'avoir accès aux sites difficilement accessibles pour ses congénères européennes.



(Figure 11)- Ouvrière *A. australis* chevauchant un coléoptère adulte à la sortie de la ruche [Megan Halcroft & co ; 2011]

-Attaque en masse : le nombre d'abeilles attaquant les coléoptères croît très rapidement, si bien qu'*Aethina tumida* finit vite enseveli sous un flot d'abeilles, et leur progression s'en retrouve fortement ralenti.



(Figure 12)- a) attaque initiale par un faible nombre d' *A.australis* b) attaque en masse en plus grand nombre [Megan Halcroft & co ; 2011]

Pendant ce temps, le nombre d'abeilles gardant l'entrée du nid augmente elle aussi, passant de 1 ou 2 avant l'introduction, à 8 ou 10 par la suite. Leur nombre a également augmenté au sein du tube faisant office d'entrée [Megan Halcroft & co ; 2011].

-Immobilisation : *A. australis* confinent et enterrent les petits coléoptères des ruches de façon similaire à *T.carbonaria*, résultant en une immobilisation plutôt qu'en une encapsulation sociale. En effet, tout comme *T.carbonaria*, elles sont capables de se défendre efficacement en « momifiant » les coléoptères adultes avec de la résine solide avant même qu'*Aethina tumida* ne soit capable de provoquer de quelconques dégâts. Des ouvrières s'approvisionnent en résine en se servant sur le plancher et/ou le plafond de la ruche afin d'embourber les coléoptères. Une fois immobilisés, ils étaient ensuite rassemblés pour que les abeilles déposent davantage de résines, jusqu'à les intégrer dans la structure même du nid. Plutôt que d'être confinés dans de petits espaces comme il fut observés avec les sous-espèces africaines et européennes, les ravageurs se retrouvent donc ici littéralement enfouis vivants. Une fois la menace écartée, le nombre d'abeilles impliquées dans la défense de la colonie diminue pendant qu'un faible nombre continue de déposer de la cire. Des abeilles gardaient ensuite ces « tombeaux » durant plusieurs heures [Megan Halcroft & co ; 2011].



(Figure 13)- a) *A. australis* récoltant de la résine collante à travers le nid b) des ouvrières déposent des couches de résines sur le corps d'un coléoptère adulte c) adulte *Aethina tumida* coincé par les ouvrières contre la structure du nid d) le coléoptère est enseveli vivant dans la structure du nid e) une ouvrière *A.australis* armé de résine collante et gardant l'entrée du nid [Megan Halcroft & co ; 2011].

-Agressions : *A. australis* se montre également agressive envers les envahisseurs, allant jusqu'à les pourchasser et les harceler en les chevauchant et les mordant à la sortie du nid [Megan

Halcroft & co ; 2011]. Les coléoptères restants dans le nid étaient attaqués par un nombre croissant d'ouvrières.

Les stratégies de défense de ces colonies d'*A. australis*, contre les différents stades du cycle d'*Aethina tumida* consistent donc à attaquer, chevaucher, augmenter le nombre d'assaillantes et déposer des couches de résines en quantité. Les excès de dépôts de résines sont toutefois minimes comparé à *T. carbonaria* [Megan Halcroft & co ; 2011]. Bien que la posture de défense d'*Aethina tumida* soit efficace pour se protéger des attaques de la colonie, cette protection reste néanmoins insuffisante face aux attaques massives des ouvrières combinées aux dépôts de résines. De par ces stratégies de défense adoptées par *A. australis*, le taux de mortalité des coléoptères introduits s'élevait à 100%. Les coléoptères éjectés étaient fréquemment embourbés dans des globules de résines collantes [Megan Halcroft & co ; 2011]. Par ailleurs, la fortification du nid, réalisée parallèlement aux attaques contre les coléoptères, constitue la part la plus importante des mesures stratégiques de défense exprimées par ces colonies [Megan Halcroft & co ; 2011].



(Figure 14)- *Aethina tumida* adulte éjecté de la ruche en étant recouvert de résine collante [Megan Halcroft & co ; 2011]

Durant cette étude, ces abeilles ont été observées à communiquer les unes aux autres via des mouvements d'ailes, de multiples contacts antennes-antennes, ainsi que par trophallaxie, si bien qu'au fil des infestations successives, leur efficacité pour se défendre ne faisait que s'accroître [Megan Halcroft & co ; 2011]. Cela met en avant l'idée que ces colonies apprennent de leurs premières expositions face à *Aethina tumida* et améliorent leurs comportements défensifs, résultant en une élimination totale de tous les stades d'*Aethina tumida* qui ont été introduits par la suite [Megan Halcroft & co ; 2011].

Compte tenu de ces données d'études, il est crédible de penser que certaines sous-espèces d'abeilles australiennes sont suffisamment semblables aux européennes au point de retrouver des similitudes dans l'expression de certains mécanismes de défense. Cependant, elles sont tout aussi suffisamment différentes de leurs congénères européennes en adoptant des stratégies de défense qui leur sont propre et qui s'avèrent très efficace contre *Aethina tumida*. Ceci aurait pu apporter une explication plausible de la raison pour laquelle le petit coléoptère des ruches a eu des difficultés pour se diffuser sur le continent Australien.

Cependant, les différences comportementales ne sont pas suffisantes pour expliquer pleinement le succès de reproduction et de diffusion d'*Aethina tumida* dans une région donnée. En effet, Peter Neumann et ses collaborateurs ont mis en avant l'idée qu'une autre raison possible expliquant pourquoi l'Australie n'avait pas au départ subi des dommages aussi importants que sur d'autres continents est qu'*Aethina tumida* n'y avait pas été présent suffisamment longtemps au moment où ces études avaient été menées. Et cette hypothèse fut démontrée par des études bien plus récentes qui ont mis en évidence une diffusion importante de ce petit coléoptère des ruches en Australie, associée à des dommages conséquents et ce, malgré les mécanismes de défense efficaces que les colonies d'abeilles australiennes expriment à son encontre.

Ceci permet d'introduire le fait que la diffusion d'*Aethina tumida* ne s'explique pas seulement par des différences spécifiques de stratégies de défense propre à certaines sous-espèces d'abeilles, mais aussi par des différences climatiques d'un continent à un autre. Si cela a pris 4 ans en Australie avant que des dommages significativement importants aient lieu dans de grandes colonies, bien plus tardivement qu'aux États-Unis, c'est aussi parce qu'une sécheresse historique a frappé le continent à ce moment-là [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. En effet, nous avons vu dans le point 1.1.1 que les conditions sèches ne sont pas favorables à la reproduction d'*Aethina tumida*. En conséquence de quoi la faible taille de la population de ce coléoptère des ruches a induit une moindre sévérité de ses infestations durant cette même période. Nous avons vu par ailleurs dans ce même point que les conditions arides et semi-arides de l'Afrique Sub-saharienne n'étaient pas favorables au développement des pupes d'*Aethina tumida*. De ce fait l'impact mineur de ce ravageur dans sa zone endémique d'origine peut aussi être dû à une croissance limitée de la population de ce coléoptère, à laquelle en résulte de moindres dommages sur les ruches. Ceci peut également expliquer la raison pour laquelle *Aethina tumida* s'attaque préférentiellement aux colonies affaiblies dans ces régions, où elles auraient plus de chances de se reproduire et se multiplier.

Ceci permet de conclure ce point, d'une part en montrant que la sensibilité d'*Apis mellifera* face à *Aethina tumida* n'est pas seulement due à un manque de mécanisme de comportement de résistance [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. D'autre part le succès de la diffusion transcontinentale d'*Aethina tumida* dépend donc de l'habilité des sous-espèces cibles à résister aux infestations mais aussi aux conditions environnementales qui peuvent soit favoriser soit limiter grandement son expansion.

1.2. CYCLE EN DEHORS DES RUCHES / COLONIES D'ABEILLES A MIEL

Aethina tumida est également capable de réaliser ses cycles biologiques sans dépendre de la présence de ruches d'abeilles, en se reportant sur des voies alternatives permettant leur développement. Ceci facilitant alors sa diffusion locale.

1.2.1. SOURCES DE NOURRITURES ALTERNATIVES

Aethina tumida appartient à la famille des Nitidulidae. De ce fait ce coléoptère peut se reproduire dans de larges variétés de nourritures d'origines végétales telles que les champignons, fruits frais, secs, ou en décomposition, des céréales, sèves des plantes, mais aussi des fleurs [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Autrement dit, *Aethina tumida* est capable de se reproduire, réaliser un cycle de vie complet, et maintenir ainsi sa population en l'absence même de colonie d'abeilles, à partir de régimes alimentaires alternatifs. Étant donné que ce petit coléoptère des ruches soit capable d'exploiter de telles ressources, leur expansion sur de longues distances au travers de générations successives s'en retrouve facilité [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Par conséquent, en plus de ce qui a été développé dans la conclusion du précédent point, la diffusion d'*Aethina tumida* peut être également influencée par la présence de sources alternatives de nourritures.

Toutefois, le nombre de descendants sera significativement plus faible comparativement au nombre de descendants issus de cycles réalisés dans les composés dérivés de l'activité des abeilles, tel que le pollen ou le miel [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. C'est pourquoi, de manière générale, *Aethina tumida* privilégiera l'infestation des ruches d'abeilles dès que celles-ci sont présentes, ceci afin de maximiser le rendement de leurs reproductions [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Par ailleurs, l'utilisation du miel comme source de nourriture leur garantie une plus longue longévité [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013]

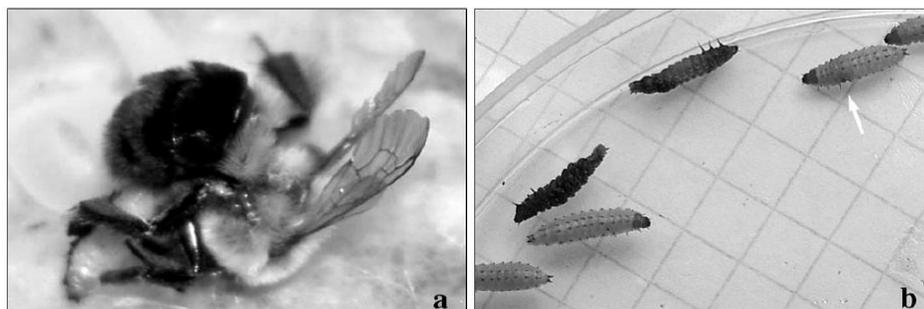
1.2.2. LES INSTALLATIONS D'APICULTURES

Aethina tumida peut également tirer profit des résidus présents dans les installations et outils utilisés par les apiculteurs. En effet, il est ainsi capable de réaliser des cycles biologiques complets dans les matériels d'extraction du miel, les supports contenant du miel suite à son

extraction, alvéoles, cires et débris persistants. La présence de levures *K.ohmeri* peut potentiellement apporter des protéines supplémentaires aux régimes des larves en développement et ainsi favoriser la reproduction de ces coléoptères [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]

1.2.3.HOTES ALTERNATIFS

Des études récentes ont mis en évidence qu'un changement d'hôte d'*Aethina tumida* vers les bourdons était possible dans les régions où ce coléoptère s'est nouvellement diffusé [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Les bourdons ne sont pas retrouvés en Afrique Sub-Saharienne mais sont au contraire originaires d'Amérique, d'Europe et d'Asie [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. En étant ainsi capable de changer d'hôte et de s'y adapter, on aurait là un autre paramètre qui faciliterait l'expansion d'*Aethina tumida* en dehors de ses terres d'origine. D'ailleurs les infestations artificielles des colonies de *Bombus impatiens* par *Aethina tumida* ont résulté en une bien plus grande mortalité des bourdons adultes et de plus grands dommages faits aux couvains [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Il était supposé au départ que les bourdons manquaient cruellement de comportement de défense, du fait qu'ils n'étaient pas adaptés à ce type d'infestation, mais d'autres expériences ont écarté cette théorie. En effet, les colonies de *B.impatiens* sont capables de défendre leurs nids contre *Aethina tumida*, notamment en les piquant et en les portant en dehors du nid, de façon semblable aux abeilles à miel [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004]. Des encapsulations sociales via l'utilisation de cire et de propolis ont également été observées. Par ailleurs, *B.atratus* et *B.robustobombus melaleucus* se montrent bien plus agressifs contre ce coléoptère des ruches. De ce fait, les dommages plus conséquents d'*Aethina tumida* envers ces espèces sembleraient être davantage corrélés avec la taille de la colonie, les plus petites étant moins aptes à se défendre efficacement par rapport aux plus grandes [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].



(Figure 15) a) un bourdon saisissant une larve d'*Aethina tumida* et tentant de la piquer
b) larves exposant des signes de piqure de par les décolorations externes visibles [D. Hoffman et al. ; 2008]

Outre les expériences de laboratoires, *Aethina tumida* s'est montré capable d'infester des colonies de bourdons dans la nature sauvage, ainsi que dans les serres. Le coléoptère est probablement attiré par l'odeur provenant de ces nids [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016], de la même manière qu'avec les ruches d'abeilles. De cette façon, ces observations prouvent qu'*Aethina tumida* est aussi capable de réaliser un cycle biologique complet en utilisant *Bombus spp.* en tant qu'hôte alternatif, ce qui rend sa propagation et sa persistance dans les nouvelles régions infestées plus efficace.

2. ÉMANCIPATION ET DIFFUSION DU PETIT COLEOPTERE DES RUCHES

2.1. DANS LA REGION ENDEMIQUE D'ORIGINE ET PAYS ADJACENTS

2.1.1. AFRIQUE SUB-SAHARIENNE

Dans les contrées endémiques d'origines, bien que l'infestation d'*Aethina tumida* soit bien étendue dans diverses régions, elle n'en reste pas moins qu'une peste mineure dans l'ensemble du continent. En effet, ce petit coléoptère des ruches assure une reproduction massive principalement au sein de colonies d'abeilles à miel affaiblies, stressées, ou de nids récemment abandonnés [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. De ce fait, son impact économique est mineur, bien moins comparativement à celui provoqué par les papillons *Galleria mellonella*



(Figure 16)- Distribution d'*Aethina tumida* en Afrique en octobre 2003 [William Michael Hood ; 2015]

(allias la « fausse teigne de cire ») et *Achroia grisella* qui sont connu pour causer d'élimination des colonies d'abeilles affaiblies [William Michael Hood ; 2004].

Toutefois, il semblerait qu'il y ait des variations sur le plan régional dans ces étendues endémiques. En effet, *Aethina tumida* s'avère rare au Kenya et en Uganda par exemple, mais cependant bien plus fréquent au Nigeria et dans l'Ouest de l'Afrique, causant de plus gros problèmes pour les apiculteurs vivants dans ces zones [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

2.1.2. ÉGYPTE

Aethina tumida a été détecté le long du delta du Nil en 2000 sans qu'aucuns dommages dans l'apiculture locale n'aient été recensé. A ce jour, ce petit coléoptère des ruches s'y est bien établi [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

2.2. HORS DE L'AFRIQUE ET DE L'EUROPE : DES POPULATIONS D'*AETHINA TUMIDA* BIEN ETABLIES.

2.2.1. AMERIQUE DU NORD



(Figure 17)- Distribution d'*Aethina tumida* aux États-Unis en décembre 2003 [William Michael Hood ; 2015]

Avant juin 1998, le petit coléoptère des ruches était connu pour se trouver uniquement sur le continent Africain [William Michael Hood ; 2004]. C'est en Novembre 1996 que le premier spécimen fut collecté à Charleston, en Caroline du Sud [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. A ce moment-là le coléoptère n'était pas encore identifié et fut gardé dans le département d'entomologie de cette région [William Michael Hood ; 2004]. Ce n'est que 2 années plus tard qu'on l'identifia comme étant *Aethina tumida* mais il était

déjà trop tard pour mettre en place des mesures d'éradication puisque ce petit coléoptère des ruches était déjà bien établi et occasionnait des dommages considérables dans les apicultures en Floride [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Depuis lors, avec des conditions environnementales tempérées et tout à fait propices à leur développement, ces ravageurs se sont diffusés à travers 48 États, la Floride et le Sud des États-Unis étant les pays les plus sévèrement touchés. Cela a donné lieu à des effondrements conséquents des grandes colonies, puisqu'elles dérivent des sous-espèces d'abeilles européennes, ainsi qu'une atteinte des récoltes et stockages de miel [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Par ailleurs, en exploitant le comportement de ces sous-espèces, *Aethina tumida* est capable de survivre l'hiver en s'abritant au sein des ruches ; c'est de cette façon qu'il a pu se diffuser et s'établir dans des régions éloignées au Nord des États-Unis tel que l'Ohio par exemple [Peter Neumann et Patti J.Elzen ; 2004].

La propagation d'*Aethina tumida* n'a pas cessé de s'étendre si bien qu'en avril 2010, des spécimens ont été identifiés à Hawaï. De par les conditions parfaitement adéquates de cette zone pour le développement de ce coléoptère, sa propagation en fut très rapide. Étant donné

que les colonies d'abeilles à Hawaï dérivent aussi de sous-espèce européennes, l'impact de ce ravageur fut considérable [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Selon une étude menée par Conor. L. et ses collaborateurs en 2011, 55% des colonies d'abeilles se sont effondrées, 80% de ces pertes ayant été provoqué par *Aethina tumida* ou par l'association entre ce dernier et *V.destructor*. En conséquence de quoi, les effets sur l'industrie locale de miel ont été dévastateurs, avec une perte importante des profits liés aux marchés d'exportations [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Les pertes estimées en 1998 étaient de 3 millions de dollars suite à la destruction de nombreuses colonies et des réserves de miel [William Michael Hood ; 2015]

2.2.2. AMERIQUE CENTRALE ET CARAÏBES

Des études menées en 2007 ont rapporté qu'*Aethina tumida* s'est aussi diffusé et installé dans 8 états du Mexique, où les niveaux d'infestations peuvent être particulièrement importants avec des milliers de coléoptères adultes au sein d'une même ruche [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Par ailleurs, ce coléoptère s'est également établi en Yucatan. Par conséquent, il ne fallut que peu de temps pour que l'invasion de ce ravageur n'atteigne Belize et le Guatemala. De même pour la Jamaïque, ce coléoptère des ruches y a été introduit en 2005 et s'est ensuite rependu sur l'entièreté de l'île depuis [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

Son impact sur l'apiculture de ces régions en est toutefois mineur, d'autant que les apiculteurs locaux n'utilisent aucunes mesures spécifiques de contrôle contre *Aethina tumida* et s'appuient uniquement sur les capacités naturelles des abeilles à résister aux infestations [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Une explication possible de cette sensibilité nettement moindre de ces abeilles par rapport aux États-Unis en est que ces colonies dérivent davantage des sous-espèces africaines. Ce qui leur permet alors d'adopter des mécanismes de défense efficaces limitant les dégâts causés par ce ravageur d'une part, et de supporter davantage la reproduction de ce dernier d'autre part [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

Enfin, la présence d'*Aethina tumida* a aussi été confirmé à Cuba en 2012 [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

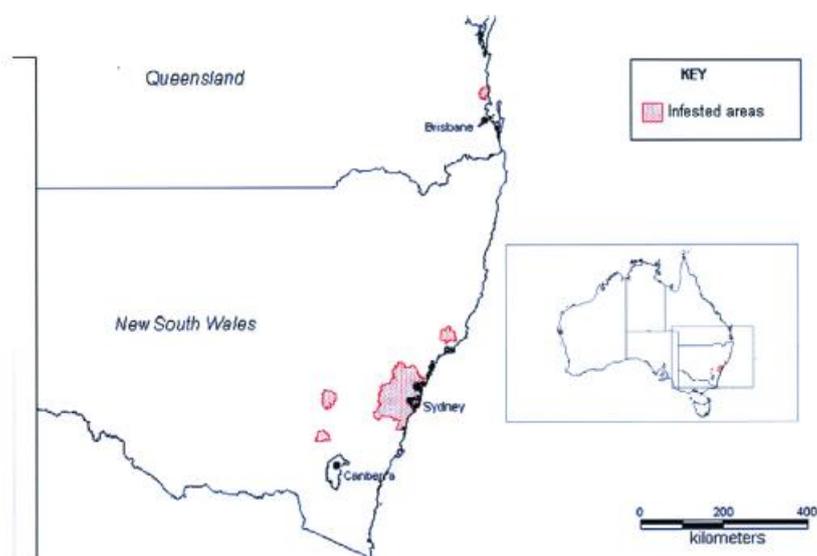
2.2.3.CANADA

En ce qui concerne le Canada, de par des conditions climatiques peu favorables à son développement, surtout via des températures basses, *Aethina tumida* ne s'y est pas vraiment

répandu encore à ce jour. Du fait que ce coléoptère était incapable d'établir une population, il n'en est pas devenu un problème majeur [William Michael Hood ; 2004]. Cependant, il y a eu malgré tous des épisodes d'épidémies au cours des années 2002, 2006, 2008, 2009 et 2013, dont les dégâts et les impacts commerciaux n'ont pas été négligeables pour les apiculteurs et les industries locales des régions concernées [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Ce petit coléoptère des ruches est cependant parvenu à s'établir en Ontario, région qui depuis a été déclaré comme étant positive à *Aethina tumida*. Par conséquent des mesures d'épidémiologie strictes ont été mises en place, interdisant tous mouvements de colonies et de matériels apicoles en provenance de cette région [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Et si ces ravageurs sont détectés en dehors de cette zone, les colonies infestées sont soit exterminées soit transportées dans des zones de quarantaines situées en Ontario [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

D'autres part, des études toujours en cours à la frontière entre le Canada et les États-Unis n'ont plus détecté la présence d'*Aethina tumida* à ce niveau depuis 2012 [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

2.2.4.AUSTRALIE



(Figure 18)- Distribution globale d'*Aethina tumida* en Australie en 2003 [William Michael Hood ; 2015]

Aethina tumida fut détecté et identifié en Australie en octobre 2002, au Nord-Ouest de Sydney, dans la zone côtière [William Michael Hood ; 2004]. De par le fait que ce petit coléoptère des ruches s'était déjà reproduit au sein de colonies d'abeilles sauvages, il était trop tard pour mettre en place des mesures d'éradication [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Il a fallu 4 années avant que des dommages considérables soient recensés dans les grandes colonies d'abeilles, un

décalage par rapport aux États-Unis qui s'explique par une période de grande sécheresse ayant frappé le continent, et qui a par conséquent ralenti la diffusion d'*Aethina tumida* [Neumann,

Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Par la suite, les transports des équipements et produits apicoles par les apiculteurs ont contribué à des introductions accidentelles de ce parasite des ruches sur de longues distances, facilitant grandement sa propagation à travers le continent. Par conséquent, de nombreuses régions auparavant indemnes ont fini par se retrouver infestées par *Aethina tumida* [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. L'invasion qui s'en est suivit a donné lieu à des dommages importants dans les milieux apicoles. En effet, une étude à Queensland menée entre 2002 et 2006 a rapporté que plus de 4500 colonies d'abeilles ont été perdues suite à des infestations de ce ravageur, auquel en résulte des dommages économiques s'élevant à 1,200000\$ [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Ceci illustre clairement qu'*Aethina tumida* est devenu également une menace économique à l'apiculture australienne lorsque les conditions appropriées à son développement sont réunies [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

2.2.5.ASIE

Une épidémie d'*Aethina tumida* a été rapporté aux Philippines en juillet 2014, durant laquelle la majorité des colonies d'abeilles européennes infestées se sont effondrées. Toutefois, ce petit coléoptère des ruches n'a pas été détecté au sein des colonies sauvages jusqu'à présent [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

2.3. CAS DE L'EUROPE : FACE A DES RISQUES D'INVASIONS

Le cas de l'Europe est particulier dans le sens où *Aethina tumida* ne s'y est pas encore officiellement établi grâce aux mesures de surveillance et d'éradication qui sont mises en œuvre rapidement dès qu'il est détecté. Par conséquent, le petit coléoptère des ruches ne s'est pas officiellement diffusé en Europe mais les risques d'invasions demeurent et ce, continuellement.

2.3.1. PORTUGAL : PREMIER CAS D'INFESTATION OFFICIELLE

L'Europe fait face officiellement à des risques d'une invasion pour la première fois en 2004, quand une cargaison transportant des reines d'abeilles infestées par des larves d'*Aethina tumida* a été intercepté. Des mesures sanitaires ont rapidement été mises en place et ont donné lieu à l'élimination de toutes les abeilles et ruches en destination du pays [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Cette détection et intervention rapide a permis d'éviter l'introduction et propagation

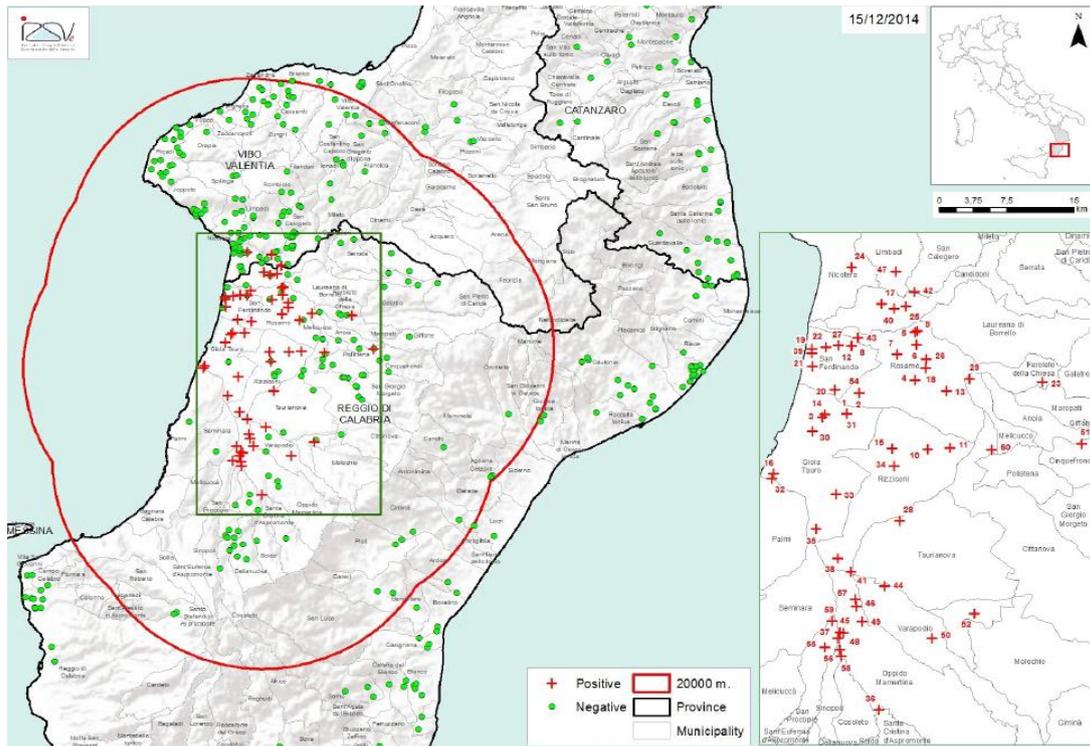
de ce parasite des ruches en Europe [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016]. Il n'y a pas d'autres cas de détections qui ont été rapportés par la littérature jusqu'en 2014.

2.3.2. NOUVEAUX CAS D'INFESTATIONS EN ITALIE ET EN SICILE

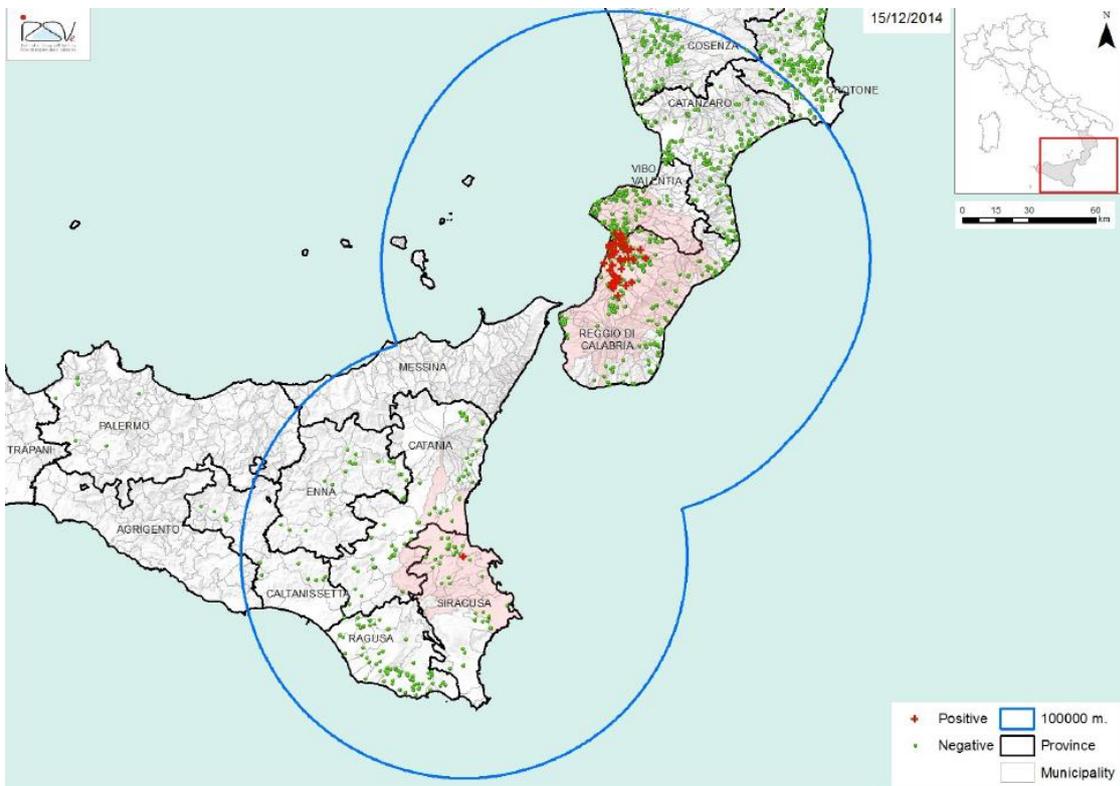
Le 5 septembre 2014, le Sud de l'Italie est touché par une épidémie d'*Aethina tumida*, plus précisément dans la région de Calabre [Anna Granato & co. ; 2016]. Les ruches infestées étaient principalement localisées près du port de Gioia Tauro, au sein duquel transitent plus de deux millions de conteneurs chaque année et provenant de diverses régions du monde [Anna Granato & co. ; 2016].

Puis, un mois plus tard, le 7 novembre 2014, une nouvelle épidémie est recensée, touchant cette fois-ci la Sicile [Anna Granato & co. ; 2016]. A la suite de ces détections, en association avec les apiculteurs, les vétérinaires officiels ont rapidement mis en place des mesures de protection et d'inspection en Calabre et en Sicile afin d'empêcher la diffusion de ce petit coléoptère des ruches en-dehors de ces régions [Anna Granato & co. ; 2016]. Ainsi, une zone de restriction sur un rayon de 20 km a été établie, le site de détection initial constituant le point central [Franco Mutinelli & co ; 2014]. Au sein de ce périmètre, toutes les ruches infestées qui sont détectionnées sont détruites, abeilles et couvains tués, et aucun mouvement de colonies ou de matériaux d'apiculture n'est autorisé, que ce soit à l'intérieur même de cette zone comme vers l'extérieur [Franco Mutinelli & co ; 2014]. Puis, partant du même centre, une zone de surveillance qui s'étend sur un rayon de 100 km a été établie [Franco Mutinelli & co ; 2014], au sein duquel les ruches sont sélectionnées de manière randomisée puis inspectées [Anna Granato & co. ; 2016]. Des pièges pour ce coléoptère sont par ailleurs installés dans toutes les ruches de cette zone. Fort heureusement, aucun coléoptères adultes ni de larves d'*Aethina tumida*, et donc aucun autre rucher infesté, n'ont été détectionnés suite aux inspections méticuleuses des abeilles et des couvains [Franco Mutinelli & co ; 2014]. Par ailleurs, une décision fut adoptée et appliquée jusqu'en mai 2015, interdisant toute exportation de lots d'abeilles, de bourdons, de produits apicoles, de matériaux d'apicultures, et de miel destiné à la consommation humaine en provenance du territoire de Calabre et de Sicile vers d'autres régions de l'Union Européenne [Franco Mutinelli & co ; 2014].

A l'issue de ces opérations, la diffusion d'*Aethina tumida* a ainsi pu être empêchée.



(Figure 19)- Localisation, en décembre 2014, des ruches infestées (en rouge) ainsi que les ruches inspectées et non infestées (en vert) dans la zone de restriction de la région de Calabri. [Franco Mutinelli & co ; 2014]



(Figure 20)- Localisation en décembre 2014 des ruches infestées (en rouge) ainsi que les ruches inspectées et non infestées (en vert) dans la zone de surveillance des régions de Calabri et de Sicile [Franco Mutinelli & co ; 2014]

Toutefois, l'année suivante, en dépit des mesures mises en œuvre dans ces contrées, une nouvelle détection d'*Aethina tumida* est recensée à Calabre le 16 décembre 2015, dans la même zone, près de Gioia Tauro. Les autorités compétentes de Calabre et de Sicile ont alors conduit les mêmes programmes de protection et de surveillances qu'en 2014 [Anna Granato & co. ; 2016]. Par la suite, aucune détection d'*Aethina tumida* n'a été rapporté suite à l'inspection de nombreuses ruches au sein des zones de restriction, de surveillance, et au-delà de ces deux contrées [Franco Mutinelli & co ; 2014]. « En plus de ces mesures adoptées pour la région de Calabre, un programme de surveillance national pour la détection d'*Aethina tumida* a été défini par un décret ad hoc du Ministère de la Santé » [Franco Mutinelli & co ; 2014].

De par le fait que ces contrées constituent une source importante d'abeilles et de reines à des fins commerciales en Europe ainsi que vers d'autres continents, faisant du domaine apicole une source de revenus non négligeables, il va sans dire que « les impacts d'*Aethina tumida* dans les industries d'apicultures et de production du miel sont dévastateurs » [Franco Mutinelli & co ; 2014].

Des vétérinaires se sont intéressés à la façon dont *Aethina tumida* a été introduit et diffusé localement dans ces régions [Anna Granato & co. ; 2016]. Étant donné que les sols de ces localités sont très sableux, chauds et humides, et que les vents sont importants de par la proximité de la mer, les conditions environnementales sont non favorables pour le développement d'*Aethina tumida*. Il est donc très peu probable que ce coléoptère ait été introduit par diffusion naturelle depuis la zone endémique [Franco Mutinelli & co ; 2014]. Cependant, le Sud de l'Italie est sujet à bon nombre de mouvements de colonies d'abeilles et d'équipements d'apiculture. Les importations illégales ont aussi été considéré [Franco Mutinelli & co ; 2014].

Ainsi, dans le but de déterminer la provenance de ce petit coléoptère des ruches, plusieurs fois détecté dans ces régions, des analyses typologiques faites sur bases de comparaisons d'enzymes mitochondriales (COX-1) ont été réalisées. Cela a ainsi permis d'identifier principalement deux groupes d'*Aethina tumida* [Anna Granato & co. ; 2016]:

Groupe A : inclue *Aethina tumida* en provenance de l'Amérique du Nord, de l'Australie et du Sud de l'Afrique.

Groupe B : inclue deux sous-groupes :

- B1 : qui comprend des souches africaines ainsi que les premiers coléoptères détectés en Italie.
- B2 : comprenant des coléoptères de Calabre ET de Sicile qui sont 100% identiques.

Cette analyse a permis de démontrer entre autres qu'*Aethina tumida* détecté en Italie fait suite à une importation depuis l'Afrique et non depuis les États-Unis ou de l'Australie [Anna Granato & co. ; 2016]. D'autre part, la subdivision des spécimens italiens en 2 sous-groupes a permis également d'avancer 3 hypothèses quant à leur apparition en Italie :

1^{ère} hypothèse : *Aethina tumida* a d'abord été introduit en Calabre, suivit d'autres introductions dans la même région avant d'être transporté en Sicile via les déplacements des apiculteurs [Anna Granato & co. ; 2016].

2^{ème} hypothèse : Les introductions d'*Aethina tumida* en Sicile et en Calabre sont des évènements totalement indépendants [Anna Granato & co. ; 2016].

3^{ème} hypothèse : Une introduction d'*Aethina tumida* a eu lieu simultanément en Calabre et en Sicile, suivi par une autre introduction plus tardive en Calabre (en 2015) via le déplacement de ruchers infestés depuis la Sicile. Ce scénario est le plus accepté [Anna Granato & co. ; 2016].

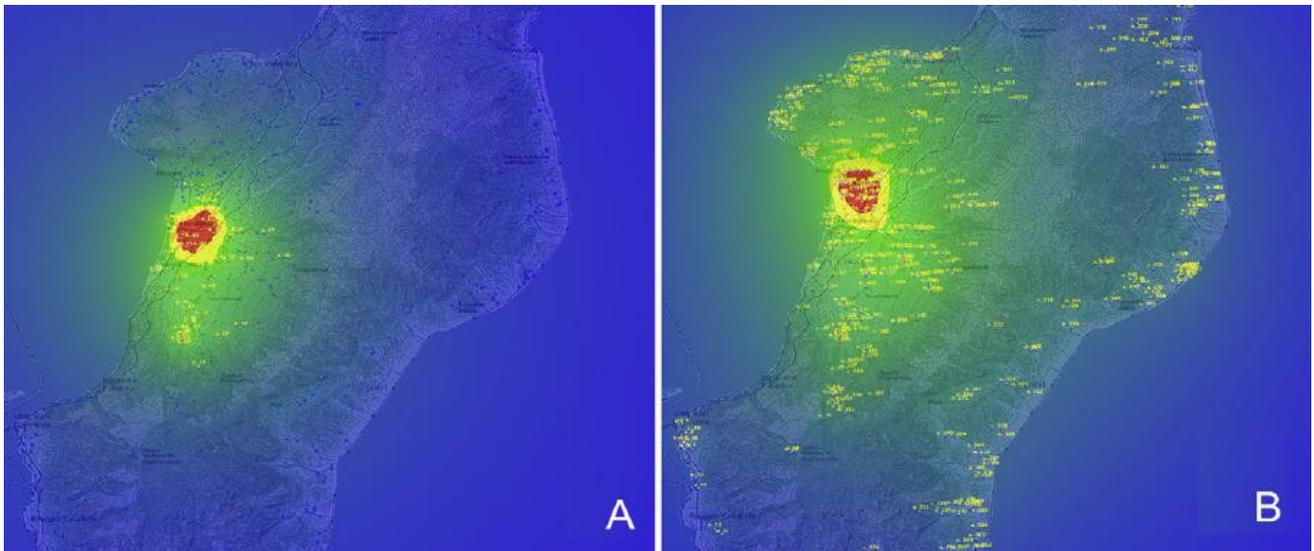
2.3.3. SITUATION ACTUELLE

Officiellement, les rapports les plus récents rapportés par la littérature ne témoignent pas de propagation d'*Aethina tumida* au sein de l'Union Européenne. Cela reste néanmoins un risque permanent puisque de multiples détections de son introduction ont déjà été réalisées ces dernières années, bien que jusqu'à maintenant les risques d'invasions ont été empêchés de par des mesures d'épidémio-vigilance. Il suffirait cependant qu'un certain nombre de ces coléoptères « by-pass » ces mesures de surveillance pour se propager rapidement à travers le continent.

D'ailleurs, concernant l'Italie, de nouvelles ruches infestées ont été détecté en 2015, 2016 et 2017, montrant par-là que les risques d'invasion sont bel et bien non résolus encore à ce jour [Alessandro Cini & co ; 2018]. « Ainsi, malgré les efforts exhaustifs des parties prenantes locales, les chances d'installations d'*Aethina tumida* en Italie ne sont pas nulles [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

Alessandro Cini et ses collaborateurs ont réalisés une étude en 2018 qui, sur base d'algorithmes, avait pour but de déterminer les sites d'invasions et les voies de propagations les plus probables de ce coléoptère suite à d'éventuelles introductions accidentelles à venir, au sud de l'Italie. Il en ressort que le(s) centre(s) de propagation éventuels d'*Aethina tumida* correspondent très probablement aux zones ayant permis son introduction. Ces centres potentiels sont définis

comme étant une zone de 27 km² sur la côte au Nord voire Nord-Est de Gioia Tauro, ainsi qu'une zone de même superficie légèrement plus au Nord. Cela montre également qu'il y a bien un lien étroit entre les introductions répétées d'*Aethina tumida* et la proximité d'un port où circulent des convois commerciaux en provenance de divers pays.



(Figure 21) - a) Centre de propagation possible d'*Aethina tumida* avec une probabilité de 95% dans la zone rouge b) montre les mêmes paramètres pour une zone légèrement plus au Nord bien que moins plausible [Alessandro Cini & co ; 2018]

A partir de la position des principaux groupes d'*Aethina tumida* identifiés, Alessandro et ses collaborateurs ont montré que l'invasion possible d'*Aethina tumida* à partir de ces centres de propagations éventuels serait le résultat de deux types de dispersion :

-Diffusion naturelle locale propre au coléoptère

-Diffusion sur de longues distances via les déplacements / transports des apiculteurs avec du matériel et/ou produits d'abeilles contaminés, pouvant donner lieu à des infestations secondaires non-intentionnelles dans d'autres ruchers plus éloignés. D'ailleurs les deux zones probables de propagation sont situées dans des milieux où l'activité humaine et industrielle est bien plus importante, rendant ce type de diffusion tout à fait plausible.

Outre le fait que la littérature ne rapporte pas, à ce jour, des diffusions à grande échelle d'*Aethina tumida* sur le continent européen, la présence et/ou un début de diffusion de ce coléoptère dans plusieurs localités d'Europe peut être malgré tout envisageable. « Quel que soit le succès d'une mesure d'éradication (...), il est connu qu'*Aethina tumida* peut survivre en dehors des zones d'apicultures » [Neumann, Jeff S. Pettis & co. ; 2016]. En effet, ce coléoptère des ruches peut tout à fait subsister et possiblement se diffuser localement en infestant les ruches des colonies sauvages d'abeilles, ou en se reportant sur des hôtes alternatifs ou encore, en

réalisant son cycle biologique sur d'autres supports que les ruches et produits de ruches, même si cela reste bien moins favorisé par le coléoptère. Et ceci, sans oublier non plus l'existence de commerces et transports illégaux qui pourraient rendre possible une introduction et diffusion à distance. Si un tel scénario était actuellement en cours, il faudrait tout au plus que des ruchers soient présents à proximité pour que les risques d'infestations deviennent réels. Se faisant, sur base de cette éventualité, il est possible que le nombre de ces parasites des ruches soit encore trop faible et que les dommages causés parmi les apiculteurs soient non significatifs, voir quasi-nulles, pour être détectable et officiellement rapporté par la littérature. « Les expériences des pays aujourd'hui atteints tendent à montrer que le développement d'*Aethina tumida* peut passer longtemps inaperçu (plusieurs mois à deux ans) » [Neumann, Jeff S.Pettis & co. ; 2016].

Cette possibilité soulève la question si l'Europe est réellement capable d'empêcher l'introduction et la diffusion d'*Aethina tumida* à travers le continent, sur le long terme ?

Selon l'ANSES, *Aethina tumida* est classé comme étant un danger sanitaire de première catégorie pour l'abeille domestique au sens de l'arrêté du 29 juillet 2013. Tout rucher infesté par ce coléoptère est à déclaration obligatoire en Europe. L'identification du parasite des ruches doit être rapportée aux autorités nationales compétentes, à la Commission Européenne et à l'OIE, à la suite de quoi les États membres doivent mettre en place un programme de surveillance [P.Neumann ; 2008]. Après les introductions épisodiques d'*Aethina tumida* en Italie, des formations sont organisées par l'ANSES depuis 2016 en association avec la DGAI en France. Une campagne de sensibilisation a été menée auprès des vétérinaires d'Europe dans le but d'être en mesure d'identifier plus facilement et rapidement toute épidémie d'*Aethina tumida* en dépit des mesures d'épidémiologie-surveillance. D'autre part, les commerces de miel d'abeilles dans l'Europe sont strictement régulés et, de plus, ne sont autorisés à l'importation uniquement les reines et les abeilles accompagnatrices depuis les pays étrangers [Alessandro Cini & co ; 2018]. Tout ceci est en faveur de mesures qui se veulent efficaces pour empêcher l'établissement d'*Aethina tumida* en Europe.

Cependant, via un rapport publié le 3 mai 2018, l'ANSES a mis en lumière quelques faiblesses dans les réglementations et régulations des commerces et transports d'abeilles, donnant lieu à un risque d'établissement définitif d'*Aethina tumida*. Ce rapport détaille une enquête réalisée à la suite de la détection d'œufs suspects, importés en France parmi un lot de reines d'abeilles en provenance d'Argentine. Heureusement, à la suite d'analyses de traçabilité, de probabilités d'occurrences de plusieurs hypothèses et d'inspections, il fut conclu que les chances d'établissement d'*Aethina tumida* dans un premier rucher français étaient nulles ou quasi-nulles

dans ce cas de figure. Toutefois, de par le délai restreint de l'expertise et des incertitudes de probabilités liées à un manque de données rétrospectives, la GECU (Groupe d'Expertise Collective en Urgence) ne pouvait pas estimer avec précision la gravité des conséquences, majorant alors les risques. A l'issue de cette investigation, l'ANSES a montré que les mesures prises jusqu'à présent ne sont pas suffisantes pour limiter au maximum les risques d'établissement du petit coléoptère des ruches en Europe. Il a ainsi jugé qu'il était nécessaire d'approfondir les mesures de surveillance et de protection en se concentrant davantage sur les points suivants :

- de raffiner les réglementations encadrant les transports des lots de reines, en mettant en place notamment des mesures de surveillance de ces lots à leur arrivée ainsi que pour les ruchers destinataires.

- de renforcer les mesures de surveillance concernant les « transports illégaux de produits apicoles de zones infestées (...) qui sont soit proche du territoire, soit très éloignées ».

- d'envisager la mise en place d'inspections libres des cages à reine importées ou, au moins, réduire le délai entre l'arrivée des lots et l'inspection. Ceci, afin d'éviter une suspicion d'introduction d'*Aethina tumida* qui ne soit faite qu'après réexpédition des reines vers les ruchers importateurs.

Autrement dit, les objectifs qui tendent à diminuer les risques de propagation d'*Aethina tumida* seraient d'autant plus efficace s'ils se focalisaient sur la mise en place de réglementations qui encadreraient davantage le transport des ruches ou produits de ruches par les apiculteurs et ce, afin d'en réduire les risques de diffusion sur de longues distances.

2.4. LES CAUSES DE CETTE EXPANSION MONDIALE

Les points précédents ont pu mettre en évidence le fait qu'*Aethina tumida* constitue « un exemple d'invasion biologique impliquant de multiples processus de dispersion, tels que le transport à longue distance, l'apiculture migratoire et les capacités de dispersion naturelle du coléoptère des ruches » [P.Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. En effet, *Aethina tumida* a pu atteindre de nouveaux rivages via les commerces nationaux et internationaux affiliés à l'apiculture en incluant : les lots d'abeilles, des cages à reine, des bourdons (*Bombus spp.*), des cellules de cires, de fruits et de terres qui sont chacun des voies d'invasions potentielles [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Les cargaisons de fruits sont toutefois sujettes à des

quarantaines fréquentes et une détection de ce parasite des ruches dans des cargaisons de fruits n'a pas eu lieu jusqu'à présent. Ainsi, l'introduction d'*Aethina tumida* dans des pays aussi éloignés que ses terres d'origines, telle que les États-Unis et l'Australie, démontrent une diffusion à grande échelle conséquente à l'activité humaine [P. Neumann & P.J.Elzen ; 2004]. Les commerces par avions semblent donc y jouer un rôle important comme le montre l'enquête de l'ANSES, mentionnée dans le point précédent, mais aussi par bateau « puisque plusieurs insectes exotiques sont soupçonnés de s'être répandus dans de nouvelles régions, se diffusant depuis une ville marine portuaire » [Alessandro Cini & co. ; 2018]. La possibilité d'introduction d'*Aethina tumida* via les ports a d'ailleurs été proposée pour les États-Unis, l'Australie et l'Italie [Alessandro Cini & co. ; 2018]. En reprenant d'ailleurs l'exemple du sud de l'Italie, les déplacements des apiculteurs ont aussi grandement contribué à la transmission de ce coléoptère des ruches dans de nouvelles régions.

Cependant, retracer le mécanisme de transport pour chaque cas d'introductions et de diffusion dans des zones spécifiques est un exercice difficile. D'ailleurs, aucunes preuves concluantes ont permis de connaître la manière exacte dont *Aethina tumida* s'est répandu aux États-Unis et en Australie [William Michael Hood ; 2015].

3. MESURES DE CONTROLE ET PREVENTION

3.1. DIAGNOSTIQUE DE PRESENCE D'*AETHINA TUMIDA*

La mise en place de méthodes de diagnostic dans le but d'identifier le petit coléoptère des ruches est certes peu nécessaire dans les zones endémiques ainsi que dans les pays où *Aethina tumida* s'est grandement diffusé (États-Unis, Mexique, Australie, Philippines), mais cependant incontournable dans les zones où les risques d'introductions sont importantes, à savoir l'Europe [P.Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Le but étant de permettre la détection d'*Aethina tumida* le plus précocement possible, s'il est présent, donnant ainsi de bien meilleures chances à son éradication ultérieure [P.Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Il est par conséquent essentiel que ces pays disposent de moyens d'identification simples, fiables et peu coûteux. Par ailleurs, un nombre croissant de pays mettent en place des mesures visant à encadrer le commerce et le déplacement des produits apicoles, une régulation qui dépend entre autres du statut d'infestation du pays exportateur [P.Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. C'est là aussi tout l'avantage qu'apporte la mise en place de protocoles de diagnostic efficaces dans le programme de surveillance, puisque cela permet de déclarer si le pays souhaitant exporter est indemne ou non d'*Aethina tumida*. Dans l'affirmative, le pays pourra commercer sans qu'il n'y ait de restrictions [P.Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016].

D'autre part, dans les zones où ce parasite des ruches s'est déjà bien établi, des protocoles de diagnostic pourraient s'avérer malgré tout utiles dans la mesure où cela permettrait d'informer les apiculteurs sur le niveau d'infestation des ruches par ce coléoptère et d'orienter ainsi les choix thérapeutiques [P.Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Ainsi, via l'association d'apiculteurs et de scientifiques, un certain nombre de diagnostics ont vu le jour [P.Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016].

3.1.1. SUR BASE DES CRITERES MORPHOLOGIQUES

Ces paramètres ont été décrit dans le point **1.1.1**.

3.1.2. TECHNIQUE MOLECULAIRE D'IDENTIFICATION

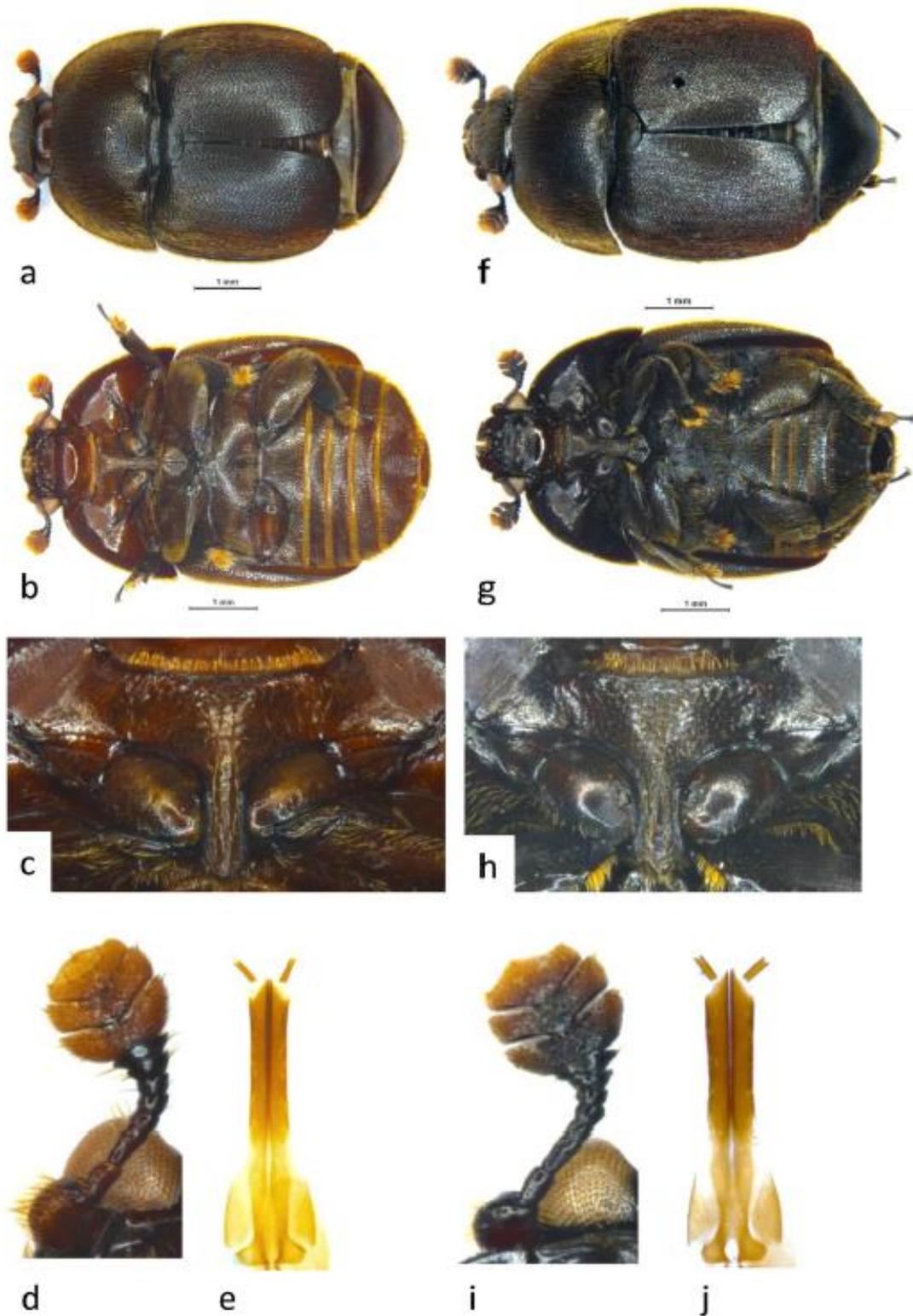
Avec les techniques de taxonomie actuelles, il est particulièrement difficile d'identifier les larves et les œufs d'*Aethina tumida* [Paolo Silacci & co. ; 2018]. Il existe pour cela des

méthodes d'extraction et d'analyses ADN permettant l'identification des œufs, larves ou d'adultes, ou même de filtrer la présence d'*Aethina tumida* dans les débris de ruches [Paolo Silacci & co. ; 2018]. Ces analyses ADN se focalisent sur l'amplification PCR de la région génique mitochondriale du cytochrome oxydase 1 (COX-1) du coléoptère [Paolo Silacci & co. ; 2018].

L'ADN mitochondrial est très utilisé dans des études phylogéniques et de diversité géographique des espèces [Véronique Dusquesne & co. ; 2017]. Dans le cas d'*Aethina tumida*, le séquençage du gène COX-1 permet de réaliser l'identification rapide du coléoptère mais aussi de son origine, comme ce fut le cas pour les spécimens introduits en Calabre [Véronique Dusquesne & co. ; 2017]. L'ADN génomique mitochondrial d'*Aethina tumida* est typiquement circulaire, comprenant 16 576 paires de bases, et contenant des gènes codant pour 13 protéines mitochondriales intervenant dans la phosphorylation oxydative. On y retrouve aussi une large région non codante de 1906 paires de bases [Véronique Dusquesne & co. ; 2017]. Cette séquence ADN du petit coléoptère des ruches diffère beaucoup des autres Nitidulidae [Véronique Dusquesne & co. ; 2017].

Par ailleurs l'analyse phylogénique d'une séquence ADN d'un fragment du génome COX-1 révèle des divergences parmi les coléoptères *Aethina tumida* [Dongmei Li & co. ; 2018]. En effet, l'arbre phylogénique montre que ce coléoptère forme 3 groupes : la séquence ADN obtenue des coléoptères d'Australie, des États-Unis et du Sud de l'Afrique forme un premier clade [Dongmei Li & co. ; 2018]. Les coléoptères détectés récemment en Italie ainsi que ceux d'Afrique centrale forment un second clade. Entre ces deux clades, il n'y a que 4 à 6% de différences dans la séquence ADN analysé [Dongmei Li & co. ; 2018]. En dépit de ces distinctions, il n'y a pas de variations morphologiques particulièrement évidentes sauf toutefois entre les spécimens d'Italie et d'Australie [Dongmei Li & co. ; 2018]. En effet, chez les coléoptères italiens, la couleur du corps est rougeâtre/brun noir, surtout ventralement, avec un prosternum dont les marges latérales sont parallèles et minces sur les côtés [Dongmei Li & co. ; 2018]. Les spécimens australiens présentent quant à eux un corps noir/brun noir, avec un prosternum légèrement plus concave sur les côtés [Dongmei Li & co. ; 2018].

Toutefois, ce génome mitochondrial n'est à ce jour pas complètement séquencé, limitant les potentiels diagnostic de ces méthodes d'analyses [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016].



(Figure 22) - *Aethina tumida* originaire d'Italie : a) aspect dorsal du corps b) aspect ventral du corps c) prosternum d) face ventrale des antennes e) face ventrale de l'organe déposant les oeufs // *Aethina tumida* Australien (Victoria) : f) aspect dorsal du corps g) aspect ventral du corps, h) prosternum, i) face ventrale des antennes, j) face ventrale de l'organe déposant les œufs [Dongmei Li & co. ; 2018]

3.1.3 DIAGNOSTIC QUANTITATIVE POUR ETABLIR LE NIVEAU D'INFESTATION

Il existe une méthode, certes rudimentaire et de longue durée, qui consiste à dépister la colonie entière [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Cela permet ainsi d'établir le niveau d'infestation de la colonie [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Toutefois, bien qu'il serait possible de dénombrer les coléoptères adultes de façon précise, faire la même chose pour les larves et surtout les œufs est une autre paire de manche. En effet, les œufs sont, pour beaucoup, déposés dans la ruche par les femelles adultes au sein de minuscules crevasses difficilement accessibles, d'autant qu'il est très difficile d'identifier les œufs et les larves sur base de leur morphologie.

Une autre méthode, facile, rapide et peu coûteuse, consiste à utiliser des sortes de bandelettes ondulées en plastique qui sont placées sur le panneau inférieur et ce, sans avoir à manipuler la colonie [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Les bandelettes doivent rester en place pendant 48 heures au minimum afin de laisser le temps aux coléoptères d'y trouver refuge. Le nombre d'*Aethina tumida* retrouvés dans les bandes est en corrélation avec le nombre total de coléoptères présents dans la ruche (Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016). Toutefois, cette technique est moins efficace en saison hivernale étant donné que ces parasites des ruches recherchent la chaleur provenant des abeilles agglomérées entre elles plutôt que de rester dans le panneau inférieur [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]

La méthode de diagnostic quantitative la plus précise consiste à tuer la colonie entière avec les coléoptères suivit d'un comptage de tous les insectes présents, d'une inspection visuelle et la dissection de chaque cadre [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Toutefois, il semble évident que cette méthode ne peut être appliquée systématiquement sur le terrain, mais peut cependant être plus souvent réalisée pour les essaims sauvages [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016].

3.2. LES DIFFERENTS MOYENS DE CONTROLE

Dans les zones où *Aethina tumida* est bien établi, il est nécessaire que les apiculteurs concernés par des infestations mettent en place des mesures de contrôle. Ces derniers visant à éliminer un maximum de coléoptères dans les ruchers sans pour autant porter atteinte à la colonie, afin de réduire au mieux les dommages provoqués par ce parasite des ruches. Il convient donc d'avoir recours à des traitements en ciblant toutes les phases du cycle d'*Aethina tumida* pour avoir un maximum d'efficacité [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Pour atteindre cet objectif, un

contrôle efficace ne doit pas compter que sur une seule méthode. La décision thérapeutique est orientée par un diagnostic fait antérieurement au préalable et doit aboutir à un choix de traitement qui se voudra efficace tout en ayant un impact mineur sur l'environnement [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. On distingue ainsi des méthodes de contrôle mécanique/physique, chimique et biologique.

3.2.1. LES MESURES DE PREVENTION

Avant d'avoir recours à des traitements, il est essentiel que les apiculteurs appliquent en premier lieu une gestion optimale des ruches, ceci afin de garantir le maintien d'une solide colonie et de réduire le niveau de stress de cette dernière [William Michael Hood ; 2015]. En réduisant ainsi les conditions de stress, c'est d'autant moins d'expositions des couvains à divers pathologies, de problèmes d'acariens, de reine défaillante, de surpeuplement ou encore de famine pour l'essaim [William Michael Hood ; 2015]. D'autre part, une surveillance des cellules vides qui pourraient abriter des coléoptères, ainsi que de bonnes mesures sanitaires sont fortement recommandées, car cela impacte *Aethina tumida* quel que soit son stade de développement [William Michael Hood ; 2015]. Aussi, il est important que le miel soit extrait des nids dans les 2-3 jours afin d'éviter que les dommages provoqués par le coléoptère des ruches n'aient d'impacts sur sa qualité [William Michael Hood ; 2015]. Il est également important de maintenir une humidité relative de 50% ou moins dans les maisons de miel dans le but de favoriser la dessiccation des œufs de ce parasite des ruches [William Michael Hood ; 2015]. Enfin, développer un site apicole, ouvert et ensoleillé, sur des sols secs est très favorable pour lutter efficacement contre *Aethina tumida*. Si le site est au contraire installé près de zones irrigués, il est conseillé d'installer les colonies à distance de ces zones afin de minimiser les chances de régénération du coléoptère qui est favorisé en milieu humide [William Michael Hood ; 2015].

A l'inverse, il est fortement déconseillé d'utiliser des pâtes contenant du sucre à des fins de traitements, ni à l'utilisation d'eau sucrée au sein des colonies pour nourrir la colonie, au risque d'attirer les coléoptères des ruches en grand nombre et d'augmenter les chances d'une reproduction massive [William Michael Hood ; 2015]. Si le site apicole est situé dans une zone où *Aethina tumida* est présent, il n'est pas recommandé d'utiliser des cages pour les reines car le coléoptère pourrait en tirer profit pour se protéger [William Michael Hood ; 2015]. Enfin, les pièges à pollen ne doivent pas être laissés au sein de la ruche sur une trop longue durée au risque

de fournir au coléoptère une source de protéines suffisante pour son développement ou sa régénération si la colonie est déjà infestée [William Michael Hood ; 2015].

3.2.2. CONTROLE PHYSIQUE

Les méthodes de contrôle physique offrent la possibilité de surveiller voir même de contraindre le développement de la population d'*Aethina tumida* dans les colonies d'abeilles, permettant ainsi de réduire les dégâts causés par ce dernier dans les ruches et, par extension, sur les produits issus de l'activité apicole. Il existe pour cela toute une série de techniques possibles, d'efficacité variables, et dont certaines sont basées sur des paramètres naturels du coléoptère des ruches.

Le fait de déplacer fréquemment les colonies vers de nouveaux sites, préférentiellement dans des zones ensoleillées pour minimiser l'humidité des sols, permettrait la réduction du nombre de coléoptères infestant les ruches. Toutefois, cela demande beaucoup de temps à investir dans la réalisation de cette technique [William Michael Hood ; 2015].

Il existe également un moyen de retirer les coléoptères via un appareil d'aspiration spécifique mais de nouveau, puisque le retrait de ces insectes se ferait un à un, le temps consacré à les enlever serait très important [William Michael Hood ; 2015]. C'est pourquoi les apiculteurs ont très peu recourt à ces méthodes.

Certains chercheurs ont aussi suggéré une tentative consistant à réaliser une seconde entrée dans la ruche au niveau supérieur, et de fermer celle qui était déjà présente sur un niveau inférieur [William Michael Hood ; 2015]. Cependant, cela donne lieu à des problèmes de thermorégulation au sein de la ruche, ainsi qu'un excès de débris dans le fond du nid, et un drainage insuffisant de l'eau. Tout ceci ayant pour conséquence une réduction du nombre d'abeilles adultes et de couvains [William Michael Hood ; 2015]. Toutefois, plutôt que de réaliser une autre ouverture, le fait d'utiliser des réducteurs d'entrée au niveau des ruches permettrait de réduire de façon non négligeable le nombre de coléoptères entrant dans le nid [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016].

D'autres part, de nombreux pièges ont été imaginés et suggérés dans le cadre de ce type de contrôle. On distingue principalement deux sortes de pièges :

-ceux placés à l'intérieur des nids qui permettent de ralentir suffisamment le développement de la population d'*Aethina tumida*, en diminuant le nombre d'adultes et de larves, pour ainsi limiter les dommages occasionnés dans la ruche [Martine Bernier & co. ; 2015]. Ce résultat est obtenu

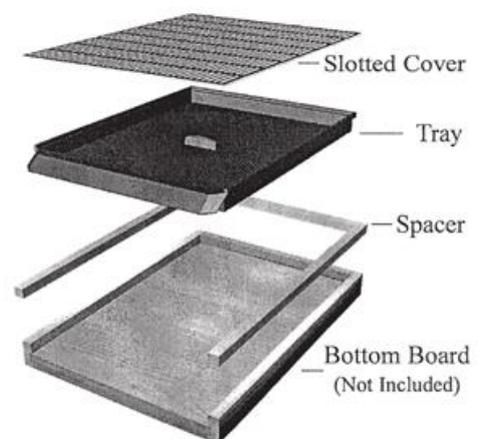
et ce, même si les pièges ne sont pas placés dans toutes les ruches du site, pour autant que le niveau d'infestation soit faible [Martine Bernier & co. ; 2015].

-ceux placés à l'extérieur, permettant entre autres de piéger les adultes et les larves errantes sortant du nid, leur empêchant l'accès au sol pour la nymphose, et faisant ainsi rompre le cycle biologique du petit coléoptère des ruches [Martine Bernier & co. ; 2015].

Pièges placés à l'intérieur des nids :

La majorité des pièges est destinée à être placée au sein même des ruches et, dans ce cadre, suivent le même schéma. En effet, étant donné qu'*Aethina tumida* est bien plus petit que les abeilles, ces pièges se présentent pour la plupart sous forme de boîtiers fermés, munis d'orifices assez grands pour permettre aux petits coléoptères d'y entrer, mais trop petits pour que les abeilles puissent y accéder [Martine Bernier & co. ; 2015]. Le fait que ce soit fermé permet de fournir au coléoptère un espace sombre dans lequel il peut se réfugier. Au sein de ces boîtiers se trouvent un liquide dans lequel il finit par se noyer [Martine Bernier & co. ; 2015]. Du vinaigre de cidre est souvent utilisé en guise d'attractant efficace [Martine Bernier & co. ; 2015]. Mais les pâtes contenant un mélange de pollen et de miel dans lequel de la levure *K. Ohmeri* est inoculée constitue les appâts les plus utilisés [Baldwyn Torto & co. ; 2010]. Ces derniers s'avèrent bien plus efficaces que les pâtes contenant uniquement du miel et de pollen [Baldwyn Torto & co. ; 2010], soulignant par-là l'efficacité attractive de la levure pour *Aethina tumida*. Les réservoirs sont, quant à eux, généralement remplis d'huile minérale alimentaire dans laquelle le coléoptère s'y jette et se noie [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. L'inconvénient de ces types de piège est qu'une manipulation de la colonie est nécessaire pour la pose de ces derniers et leurs entretiens [Lilia I. De Cuzman & co. ; 2011].

Un exemple qui illustre bien cette description est un piège présent dans le commerce sous le nom de « West Beetle Trap » [William Michael Hood ; 2015]. Il se présente sous la forme d'un boîtier en plastique où le quart de son volume est rempli d'huile minérale [William Michael Hood ; 2015]. Un couvercle muni de multiples fentes permet l'entrée des coléoptères. Le retrait temporaire de tous les cadres est nécessaire pour permettre la mise en place de ce piège [William Michael Hood ; 2015]. Il est ensuite placé sur le support inférieur de la ruche [William Michael Hood ; 2015]. En plus de capturer et d'éliminer



(Figure 23) - Schéma représentatif du West Beetle Trap [William Michael Hood ; 2015]

le petit coléoptère des ruches, ce piège s'avère aussi efficace envers *V.destructor*, ce qui constitue un avantage puisqu'il permet d'assurer une lutte contre deux ravageurs des ruches d'abeilles à la fois [William Michael Hood ; 2015].

Pièges placés à l'extérieur des nids :

Concernant ces pièges, plusieurs paramètres ont été considérés dans le but de maximiser leurs potentiels attractifs à savoir :

-L'exposition à des zones ombragées : une étude menée par Richard T. Arbogast et ses collaborateurs a démontré l'influence de la luminosité sur la fréquence de capture des coléoptères. En plaçant des pièges, munit d'appâts, avec des témoins sur des zones ensoleillées ainsi que sur des lieux à l'abris du soleil, des comparaisons sur le nombre de coléoptères capturés ont été réalisées. Il en résulte que la proportion de coléoptères capturés dans les zones ombragées est significativement plus importante. Ce type de paramètre concerne davantage la capture de coléoptères adultes.

-La phototaxie : *Aethina tumida* semble s'orienter avec la lumière naturelle et leurs mouvements en réponse à la lumière présente dans leur environnement se modifient d'un stade à l'autre du cycle biologique, mais aussi entre certains stades [Adrian J. Duehl & co. ; 2011]. En effet, les adultes sont attirés par la lumière au moment où ils émergent du sol contrairement aux adultes plus « vieux » [Adrian J. Duehl & co. ; 2011]. De ce fait leurs dispersions sont influencées par la phototaxie. Les larves quant à elles présentent le schéma inverse, où les jeunes sorties des œufs ne sont aucunement influencées par la lumière pour leurs déplacements contrairement aux larves errantes qui, elles, se déplacent vers la lumière [Adrian J. Duehl & co. ; 2011]. Toutefois, la phototaxie des larves matures n'est qu'éphémère et s'étend sur une durée tout juste nécessaire pour leur permettre de sortir du nid d'abeilles et d'atteindre le sol pour entamer leur nymphose, où elles se déplaceront ensuite à l'abris de la lumière [Adrian J. Duehl & co. ; 2011].

De ce fait, il est possible de tirer profit de la phototaxie chez les larves errantes lorsque celles-ci se dispersent dans les ruches, afin de les piéger et les empêcher d'atteindre le sol, réduisant ainsi la pression d'infestation. De même pour les adultes émergeant du sol, chez qui la mise en place de pièges utilisant de la lumière perturberait l'invasion des ruches [Adrian J. Duehl & co. ; 2011]. Les jeunes larves ne seraient quant à elles aucunement influencées par les stimuli lumineux [Adrian J. Duehl & co. ; 2011]. Les pièges associant une attraction olfactive par des appâts et des stimuli visuels permettent la capture d'un plus grand nombre de coléoptères adultes que les pièges utilisant uniquement des signaux olfactifs [Adrian J. Duehl & co. ; 2011].

-Les couleurs : un certain nombre de pièges d'insectes ont été développés en observant la réponse des coléoptères des ruches aux couleurs [Lilia I. De Cuzman & co. ; 2011]. En effet, en addition avec les stimuli olfactifs, *Aethina tumida* est également guidé par des stimuli visuels, autre que la phototaxie, pour rechercher et détecter un hôte [Lilia I. De Cuzman & co. ; 2011]. Cela viendrait du fait que les insectes nocturnes ont développé, à travers l'évolution, des yeux différents des insectes diurnes [Lilia I. De Cuzman & co. ; 2011]. Ces premiers sont de ce fait attirés par des couleurs ayant une forte réflectivité tel que le blanc ou encore le jaune, à l'inverse des insectes diurnes [Lilia I. De Cuzman & co. ; 2011]. C'est pourquoi, étant donné que les coléoptères adultes sont particulièrement actifs juste avant ou après le crépuscule (cf. point 1.1.1.), ils ont une plus grande attirance pour les pièges de couleurs blancs [Lilia I. De Cuzman & co. ; 2011].

-La distance séparant le piège du nid : il existe une corrélation négative entre la fréquence de capture et la distance qui sépare le piège du nid [Richard Arbogast & co. ; 2009]. Autrement dit, les chances de capturer des petits coléoptères des ruches dans des pièges munis d'appâts diminuent à mesure que cette distance augmente [Richard Arbogast & co. ; 2009].

Enfin, outre la mise en place des pièges, il est important de prendre en considération que l'équipement utilisé par l'apiculteur peut aussi être souillé par du miel fermenté ainsi que par des larves d'*Aethina tumida* [William Michael Hood ; 2015]. Des mesures efficaces qui peuvent être mise en œuvre pour réutiliser le matériel contaminé consistent à utiliser simplement des produits ménagers tel que vinaigre blanc, eau de javel, détergeant ou encore de l'huile végétal ; la javel étant le moyen le plus efficace pour tuer les larves qui pourraient être présentes sur les équipements [William Michael Hood ; 2015].

Les mesures de contrôle physique constituent un moyen efficace pour lutter contre les coléoptères des ruches tout en évitant d'impacter négativement la colonie d'abeille infestée. Toutefois, les pièges placés à l'intérieur des nids se focalisent surtout sur la capture et l'élimination des coléoptères adultes, et possiblement des jeunes larves. Elles impactent en revanche bien moins les larves errantes car, ne se nourrissant plus, elles seraient donc moins attirées par les appâts installés dans les pièges. Ces derniers n'empêcheraient donc pas efficacement ces larves à sortir du nid pour la nymphose. De plus, l'installation et l'entretien de ces pièges nécessite de manipuler régulièrement les colonies, en enlevant et remettant les cadres. Ceci pourrait favoriser l'augmentation du niveau du stress de ces dernières et les effets

négatifs que cela entraîne, à savoir une plus grande sensibilité de l'essaim face aux infestations d'*Aethina tumida* et in fine, de plus grands risques d'effondrements des colonies d'abeilles.

Les pièges placés à l'extérieur des nids présentent l'avantage d'éviter toute manipulation des colonies. Toutefois, l'efficacité de ces derniers pourrait être influencée par l'environnement et les saisons. En effet, puisqu'*Aethina tumida* diminue son activité en période hivernale et reste au sein de la ruche pour se protéger des températures froides, le taux de capture extérieure au nid à ces périodes en seront sûrement diminués. Aussi, la surface des zones ombragées dépend de la présence ou non d'arbres sur le site apicole concerné. D'autres part, l'utilisation de stimuli visuels pourrait également affecter l'activité des abeilles.

Par ailleurs, il serait possiblement intéressant de combiner la mise en place de pièges à l'intérieur et à l'extérieur du nid pour optimiser l'efficacité des contrôles physiques en ciblant le plus de stades possibles du cycle d'*Aethina tumida*. Cependant, il est aussi important de considérer l'investissement financier que cela importe pour l'apiculteur, qui subit déjà des pertes économiques importantes à cause de ce petit coléoptère des ruches, ainsi que le temps de travail que représente la mise en place des pièges et leurs entretiens.

Donc, les contrôles physiques permettent de lutter efficacement contre *Aethina tumida*, mais ces méthodes ne conviendraient peut-être pas pour tous les apiculteurs concernés par des infestations de ces coléoptères.

3.2.3. CONTROLE CHIMIQUE

Les contrôles chimiques sont parmi ce qui est majoritairement employés pour lutter contre plusieurs stades d'*Aethina tumida*. En effet, certains produits peuvent être utilisés au sein des ruches afin d'éliminer les coléoptères adultes et les larves tandis que d'autres sont appliqués sur les sols pour cibler les nymphes et les jeunes adultes émergents. Dans un cas comme dans l'autre, il existe tout un panel de traitements disponibles dont les plus utilisés sont développés ci-après.

Perméthrine pyréthroïde :

Lorsqu'*Aethina tumida* est parvenu à se reproduire, à pondre des œufs et que certains parmi ceux-ci ont éclos, des larves et des pupes peuvent être présents dans le sol, surtout à proximité et autour de la ruche [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Il devient donc nécessaire de traiter le sol. La perméthrine pyréthroïde, un pesticide, est de ce fait très largement utilisée à cette fin,

par trempage, permettant ainsi de tuer les larves et pupes présentes sur et dans le sol [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Pour se faire, il est nécessaire de l'appliquer autour de la ruche et ce, à une distance de 90 à 180 cm de cette dernière, dans toutes les directions pour optimiser son efficacité [William Michael Hood ; 2015]. Il est de ce fait recommandé de placer les colonies sur des supports afin d'empêcher toute fumée provenant du produit pénétrant le sol de s'engouffrer dans la ruche [William Michael Hood ; 2015].

Toutefois, les inconvénients de ce traitement sont le fait que, même si la protection individuelle des ruches du site est assurée, il n'empêche pas pour autant la propagation d'*Aethina tumida* [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. D'autre part, quand les coléoptères des ruches se reproduisent, les larves sortent continuellement du nid pour entamer la phase de nymphose, ce qui implique un traitement continu du sol [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. De ce fait, l'impact environnemental sur le long terme n'est pas négligeable. De plus, ce produit est également toxique pour d'autres insectes non ciblés, dont les abeilles, et peut de surcroît donner lieu au développement de coléoptères résistants à ce traitement [Andrew G.S. Cuthbertson & co ; 2013]. Une forme commerciale de perméthrine pyréthroïde est connue sous le nom de Gard Star^R. Dans les pays qui l'autorisent, elle est souvent utilisée en association avec du Check Mite+.

Chaux hydratée :

Il s'agit d'une forme de traitement faite à base de chaux vive (oxyde de calcium) dans lequel de l'eau y est pulvérisé, provoquant ainsi une réaction exothermique. Une chaux vive éteinte peut ainsi être utilisée à des fins de désinfection. De par ses propriétés hydrophiles, donnant lieu à l'absorption de l'eau présent dans le sol, et à sa capacité à augmenter le PH, rendant les sols moins acides, la chaux éteinte peut alors affecter le processus de nymphose d'*Aethina tumida* [Andrew G.S. Cuthbertson & co ; 2013]. Mélangée à de la terre de diatomée, elle peut aussi être utilisée dans des pièges placés au sein des ruches, étant ainsi mortelle pour les larves et les adultes qui y sont présents [Andrew G.S. Cuthbertson & co ; 2013]. En effet, les pièges contenant cette substance donnent lieu à la mort de plus de 50% des adultes en 48 heures [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. On a donc ici une méthode qui peut servir à la fois pour le traitement des sols et donc des pupes, et à la fois comme agent de contrôle au sein même d'une ruche, touchant larves et adultes. Elle constitue par ailleurs une alternative aux autres traitements chimiques conventionnels [Andrew G.S. Cuthbertson & co ; 2013]. Cependant, les larves errantes semblent montrer une certaine résistance à ce produit car, étant en phase post-alimentation, elles n'ingèrent pas de chaux. D'autre part, une proportion élevée de ces larves a

déjà été observé d'avoir achevé leur développement dans des couches du sol situées plus en profondeur, là où le produit n'est pas présent, puisqu'il est surtout pulvérisé sur les couches superficielles [Andrew G.S. Cuthbertson & co ; 2013].

Le coumaphos :

Il s'agit d'un organophosphate utilisé pour ses propriétés acaricide et insecticide [Cesar & co. ; 2016]. Dans le cadre de traitement des ruches d'abeilles contre *Aethina tumida* et *V.destructor*, on le retrouve souvent dans le commerce sous le nom de Check Mite+. Ce produit est indiqué uniquement pour des périodes de l'année où la production de miel par les abeilles est faible, et il est nécessaire de retirer les cadres durant le traitement [William Michael Hood ; 2015]. Pour



(Figure 24) - Traitement d'une ruche avec du Check Mite+, la bandelette induite du produit est placée au centre de la ruche

<https://www.animalhealth.bayer.ca/fr/bees/checkmite>

lutter contre le petit coléoptère des ruches, une seule bandelette contenant le produit est fixée sur le côté ondulé d'un carton puis l'ensemble est placé dans la ruche, en son centre, sur le panneau inférieur, et laissé ainsi sur une durée de 45 jours [William Michael Hood ; 2015]. Les coléoptères sont attirés par la zone d'ombre fourni par les ondulations du carton lorsqu'ils cherchent à se réfugier. Ils entrent alors en contact avec le produit et restent ainsi suffisamment longtemps pour s'exposer à des doses qui lui sont mortelles [William Michael Hood ; 2015]. Check Mite+ présente une toxicité large contre *Aethina tumida*, éliminant à la fois les adultes et les larves [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Cependant les larves errantes présentent de nouveau une certaine forme de résistance [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016]. Enfin, ce produit reste inefficace durant l'hiver de part une plus faible activité du coléoptère qui se rapprochera plutôt des abeilles agglomérées entre elles et profiter de la chaleur qui s'en libère [William Michael Hood ; 2015]. Dans le cadre de ce traitement, il est nécessaire de réaliser une inspection de la colonie avant et après son application afin d'en juger son efficacité [Andrew G.S. Cuthbertson & co ; 2013].

Cependant, le coumaphos présente des inconvénients majeurs sur le plan environnemental, à savoir qu'il peut persister dans le sol pendant plus d'une année, donnant lieu à des conséquences sérieuses sur le plan biologique et environnemental [Cesar Valdovinos-Flores & co. ; 2016]. D'autre part, sa toxicité sur la colonie d'abeilles suite à son application peut être conséquente. En effet, de récentes études ont montré que son utilisation affecte les abeilles au cours de leur

développement, en favorisant entre autres l'incidence d'anomalies physiques, d'atteintes neurologiques donnant lieu à des comportements atypiques, d'une diminution de poids ainsi qu'une baisse de fertilité des reines [Cesar Valdovinos-Flores & co. ; 2016]. De plus, à certaines doses, cette substance peut leur être fatale, la LC50 étant de 8mg/L pour les larves à 46,3 mg/L pour les abeilles adultes. Des résidus présents dans les produits de miel ont d'ailleurs été rapportés [Cesar Valdovinos-Flores & co. ; 2016].

Ce composé est utilisé aux États-Unis en apiculture contre *V.destructor* et *Aethina tumida* depuis 1999 [Cesar Valdovinos-Flores & co. ; 2016]. En Amérique centrale, l'utilisation de ce composé est autorisée chez les animaux domestiques et de rentes, en ciblant les puces, mites et poux, mais pas dans le domaine apicole [Cesar Valdovinos-Flores & co. ; 2016]. De même que dans l'Union Européenne, ce traitement n'est pas autorisé dans l'apiculture [Cesar Valdovinos-Flores & co. ; 2016].

Autres traitements :

Au sein des nids, un certain nombre de traitements chimiques supplémentaires sont mentionnés par la littérature, utilisés sous forme de piège, de la même façon que pour ceux mentionnés dans les contrôles physiques, à la différence que l'appât est mélangé à un composé létal sous forme d'acide borique, d'insecticides, ou de pesticides. Un exemple parmi ceux-ci est disponible sur



(Figure 25)- Piège Apithor TM placé sur le support inférieur de la ruche, après avoir préalablement enlevé les cadres contenant couvain, miel et abeilles

<https://apithor.com.au/how-to-use-apithor/>

Cuthbertson & co ; 2013]. Les inconvénients associés à la manipulation de la colonie pour le placement du piège sont toutefois possibles.

Il existe également des traitements aériens tels que le disulfite de carbone ou encore le paradichlorobenzène. Ces pesticides sous forme de gaz, s'engouffrent dans le nid pour

permettre l'élimination des coléoptères [William Michael Hood ; 2015]. L'avantage est que, sous cette forme, toute surface est traitée jusqu'aux petites crevasses où *Aethina tumida* peut se réfugier. L'inconvénient majeur est que les abeilles, couvains, et produits de ruches, se retrouvent tout autant exposés. Ces produits présentent une forte toxicité environnementale et biologique, mais aussi pour l'homme chez qui ces substances sont cancérigènes, c'est pourquoi leurs utilisations sont rares.

On retrouve également des traitements à l'acide formique (60%) et à l'acide acétique (70%) qui, respectivement, assurent une action efficace au sein du nid à l'encontre des larves et des adultes [Neumann, J.S.Pettis & co. ; 2016].

Concernant les traitements du sol, divers autres produits sont cités dans la littérature à savoir l'hexachlorure de benzène, le carbaryl, chlordane et des solutions salées [William Michael Hood ; 2015].

Enfin, de par le fait qu'il existe une agrégation par phéromones chez les coléoptères des ruches infestant une colonie (cf point 1.1.1), des recherches sont menées dans des laboratoires afin d'identifier cette substance chimique volatile qui est surtout produite par les mâles. Cela permettrait de mettre en place des leurres pour assurer le contrôle d'*Aethina tumida* sur le terrain [William Michael Hood ; 2015].

A l'issu de cette partie, on remarque qu'*Aethina tumida* présente une sensibilité pour un grand nombre de pesticides et d'insecticides. De par le fait que ces méthodes sont simples à appliquer, efficaces, et d'une durée d'action longue, elles constituent des traitements de premier choix pour traiter les sites apicoles infestés par le petit coléoptère des ruches. Toutefois, on a vu que ces méthodes thérapeutiques sont loin d'être anodines. En effet, elles peuvent avoir des conséquences directes sur la colonie elle-même, que les apiculteurs chercheront évidemment à minimiser, mais aussi sur d'autres espèces non ciblées. De ce fait, vu que ces produits sont utilisés à grande échelle, les impacts environnementaux sont pour le moins importants. Cela est d'autant plus vrai de par la rémanence de certains de ces composés dans l'environnement, pouvant s'étendre sur une très longue période (des mois, voir années). D'autre part les chances pour qu'il y ait des résidus dans le miel et autres produits issu de l'apiculture ne sont pas à négliger, surtout suite à une mauvaise utilisation du traitement. Des surveillances de la quantité de ces résidus sont de ce fait préconisées pour des raisons de santé publique, quantité qui se

doit de respecter la LMR. Par ailleurs, l'efficacité de cette méthode est malgré tout limitée puisqu'un seul traitement n'est pas suffisant pour agir sur tous les stades du cycle d'*Aethina tumida*. Cela qui laisse donc suggérer une utilisation combinée de plusieurs produits, pour agir à la fois à l'intérieur et en dehors de la colonie, et élargir ainsi le contrôle sur l'ensemble du cycle du coléoptère. Par ailleurs, bien que la littérature n'y a pas fait mention, l'idée d'une utilisation combinée de plusieurs substances chimiques pourrait permettre une réduction des doses utilisées, et donc des risques de toxicité qui leur sont associées, tout en permettant une action synergique et plus large sur les différents stades d'*Aethina tumida*. Enfin, il est aussi nécessaire de ne pas avoir recours à ces traitements de manière excessive, et de ne pas utiliser successivement les mêmes produits chimiques au risque de favoriser l'apparition de résistances. Tous ces inconvénients mis ensemble peut suggérer une remise en question de l'utilisation accrue de cette approche thérapeutique, de par son impact sur le triangle environnement, animaux et santé publique. Et c'est dans cet esprit que des approches thérapeutiques alternatives ont récemment vues le jour.

3.2.4. CONTROLE BIOLOGIQUE

Les moyens de contrôle biologique sont des découvertes récentes dans le cadre d'un contrôle d'*Aethina tumida*. Ils consistent en l'utilisation de moisissures et de nématodes mortels pour certains insectes, dont le petit coléoptère des ruches, et constitueraient ainsi une voie alternative potentielle aux insecticides chimiques [Clarence Collison ; 2013].

Les agents fongiques :

Dans les premiers points décrivant le cycle biologique d'*Aethina tumida*, il est décrit que ce dernier est capable de se nourrir à partir d'aliments pouvant être en décomposition ou pourris. Ce qui suggère que ce petit coléoptère des ruches peut être tolérant à une variété de pathogènes microbiennes et fongiques présents dans son environnement direct [Andrew G.S. Cuthbertson & co ; 2013]. Pourtant, récemment, des chercheurs ont rapporté l'existence de pathogènes fongiques, au départ non identifiés, causant une mortalité notable des coléoptères lors d'essais de laboratoire [William Michael Hood ; 2015]. C'est pourquoi d'autres études ont été mené dans le but d'identifier ces agents en question [William Michael Hood ; 2015]. Ils ont ainsi découvert une mortalité élevée des pupes suite au contact, quand ils étaient sous forme de larves errantes, avec d'autres pupes tuées par un agent pathogène [Andrew G.S. Cuthbertson & co ; 2013].

C'est ainsi que plusieurs espèces d'agents fongiques ont été identifiées à partir de ces coléoptères morts [Clarence Collison ; 2013].

Parmi ceux-ci, on retrouve *Aspergillus flavus* et *Aspergillus niger*. Ce sont des champignons qui résident dans le sol et connus pour attaquer les insectes infestant la terre [Clarence Collison ; 2013]. Concernant *Aethina tumida*, ces deux espèces fongiques semblent affecter particulièrement les pupes ainsi que les larves en post-alimentation creusant le sol pour entamer la nymphose [Andrew G.S. Cuthbertson & co ; 2013]. Une mortalité des coléoptères adultes a également été recensée [Andrew G.S. Cuthbertson & co ; 2013]. Entre ces deux espèces fongiques, sur bases d'essais expérimentaux, des chercheurs ont mis en évidence le fait que c'est surtout *A. flavus* qui, à lui seul, cause une mortalité importante des pupes d'*Aethina tumida*, et que ce taux de mortalité diffère peu si cet agent est utilisé conjointement avec de la terre de diatomée [Clarence Collison ; 2013]. Toutefois, *A. flavus* est un agent fongique généraliste, donc peu spécifique, infectant plusieurs insectes, plantes et animaux, et également connu pour être retrouvé dans les graines de céréales, et surtout pour donner lieu à la formation d'un composé toxique : l'aflatoxine [Clarence Collison ; 2013]. C'est pourquoi il ne peut être utilisé comme moyen de traitement biologique à l'encontre d'*Aethina tumida* [Clarence Collison ; 2013].

Heureusement, ces agents fongiques ne sont pas les seuls à avoir été identifiés. En effet, on en décrit également d'autres, provenant d'Afrique Sub-Saharienne, tels que *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* et *Hirsutiella illustris*, causant respectivement la mort de 74%, 28%, et 2% des coléoptères adultes lors d'expériences de laboratoire [Clarence Collison ; 2013]. Ceci met en avant une efficacité évidente de *B. bassiana*, et légèrement de *Metarhizium anisopliae*, face à la forme adulte d'*Aethina tumida*. En fait, selon Andrew G.S Cuthbertson et ses collaborateurs, les isolats de *Metarhizium spp.* donnent de meilleurs résultats à l'encontre des larves, entraînant un taux de mortalité pouvant monter à 70% en l'espace de 7 jours. Ces trois agents fongiques cités ont une spécificité qui diffère et leur virulence dépend de l'espèce d'insecte ciblée. Ils ont une large distribution et peuvent être isolés à partir d'insectes et du sol [Andrew G.S. Cuthbertson & co ; 2013]. Certaines souches sont d'ailleurs présentes sur le commerce.

L'utilisation d'agents fongiques dans le cadre d'un traitement de contrôle contre *Aethina tumida* semble donc particulièrement intéressant. En effet, « certains agents pathogènes fongiques sont très hôtes spécifiques et non toxiques pour les vertébrés » [Clarence Collison ; 2013], tout en

ayant un impact sur les coléoptères sous leurs formes adulte, nymphale et larvaire, autrement dit sur presque tous les stades du cycle biologique d'*Aethina tumida*. Cela qui constituerait un avantage considérable par rapport aux traitements chimiques. Cependant, la littérature relève très peu de résultats quant à leur utilisation sur le terrain. De ce fait, leur efficacité réelle sur les sites apicoles et sauvages reste encore indéterminée. Les informations concernant l'impact de ces agents envers la colonie sont aussi manquantes.

Les nématodes :

Autre que les agents fongiques, des chercheurs ont aussi identifiés certains nématodes dont *Aethina tumida* semble être sensible [Clarence Collison ; 2013]. En effet, ces nématodes pénètrent leur hôte pour s'en nourrir et s'y reproduire, généralement en l'espace de 15 jours [J.D.Ellis & co. ; 2010]. Les nouveaux nématodes issus de ces reproductions émergent de leur hôte et débutent la recherche d'un nouvel hôte [J.D.Ellis & co. ; 2010]. Ainsi, aussi longtemps que des larves et des pupes d'*Aethina tumida* sont présentes dans le sol, ces nématodes persisteront puisque ces petits coléoptères des ruches sont pour eux une source de nourriture facilement accessible [J.D.Ellis & co. ; 2010].

Des chercheurs ont entre autre découvert que *Steinernema carpocapsae*, *S.riobrave*, *S.kraussei* et *H.indica* sont capable d'assurer un contrôle du coléoptère, en particulier des pupes et des larves matures prêtes à réaliser la nymphose et ce, après une simple application dans le sol [Clarence Collison ; 2013]. « L'efficacité des nématodes diffèrent significativement selon l'espèce et le niveau d'application dans le sol » [J.D.Ellis & co. ; 2010].



(Figure 26)- Larve d'*Aethina tumida* disséqué, relâchant des nématodes *S.carpocapsae* [Andrew G.S. Cuthbertson & co. ; 2013].

Selon Clarence Collison, *S. carpocapsae* et *S.kraussei* sont capables en particulier d'entraîner une mortalité totale des larves errantes, et d'assurer un contrôle efficace de ces dernières dans le sol pendant une durée de 3 semaines [Clarence Collison ; 2013]. Ces résultats sont aussi soutenus par Andrew G.S Cuthbertson et ses collaborateurs.

Cependant, les travaux menés par J.D.Ellis et ses collaborateurs ont mis en avant le fait que *H.indica* et *S.riobrave* sont tout autant capable d'assurer un contrôle solide des larves errantes et des pupes d'*Aethina tumida*, pendant 19 semaines, suite à une simple inoculation. D'ailleurs, quelques soient les types d'inoculation, les taux de mortalité d'*Aethina tumida* en phase

nymphale s'élèvent au-delà de 76%, lors d'essais de laboratoire, prouvant ainsi leur efficacité. Toutefois, l'efficacité des nématodes à infester les larves d'*Aethina tumida* semble aussi dépendre des conditions environnementales [J.D.Ellis & co. ; 2010]. En effet, l'humidité du sol semble affecter leur virulence et les taux de mortalités du coléoptère des ruches sont plus conséquents sur des terrains qui sont davantage exposés au soleil [J.D.Ellis & co. ; 2010]. Puisque les conditions environnementales influencent les performances des nématodes, il est difficile de prévoir les concentrations nécessaires pour une application qui se veut efficace [J.D.Ellis & co. ; 2010]. Toutefois, comme *Aethina tumida* réalise la nymphose en étant proche des ruches, la surface de traitement reste néanmoins réduite [J.D.Ellis & co. ; 2010]. Ainsi, il fut pensé une utilisation possible sur le terrain de cadavres de vers de farine contaminés par ces nématodes pour les apiculteurs [J.D.Ellis & co. ; 2010]. Les cadavres de vers serviraient de sources de nourritures temporaires, permettant la persistance de ces agents biologiques et ce, jusqu'à ce qu'*Aethina tumida* soit disponible dans le sol [J.D.Ellis & co. ; 2010].

A travers ce point, on peut voir que certains nématodes assurent aussi un contrôle biologique actif, permettant une mortalité efficace des larves errantes et pupes après une seule inoculation. Et cela, sans représenter une toxicité particulière pour les vertébrés, ni les essaims d'abeilles et les produits dérivés de leurs activités. Ceci pourrait tout aussi bien constituer une voie alternative de traitement. Néanmoins, « n'importe quelle rupture dans la disponibilité des hôtes dans le sol (notamment durant l'hiver) demande à ce que le sol soit retraité avec des nématodes » [J.D.Ellis & co. ; 2010].

Cependant, étant donné que ces découvertes sont récentes, les données fournies par la littérature nous renseignent surtout sur l'efficacité de cette méthode biologique dans un contexte de laboratoire, mais peu d'études sur ce domaine ont été réalisées sur le terrain. D'autre part, on peut constater que l'action des nématodes, tout comme celle de certains agents fongiques, se concentre surtout sur la partie du cycle d'*Aethina tumida* se déroulant à hauteur du sol, impactant larves errantes, pupes et adultes émergents. De ce fait, ces méthodes ne semblent pas pouvoir être utilisées au sein des ruches, bien que ce soit justement là que se retrouvent les adultes qui se reproduisent ainsi que les jeunes larves réalisant l'essentiel des dommages au sein du nid. Or, même si cette méthode finit sur le long terme par entraîner une diminution de la population d'*Aethina tumida*, ce n'est pas une technique qui peut être utilisée seule pour endiguer une infestation du petit coléoptère des ruches. Il sera nécessaire alors de la combiner avec une méthode de contrôle chimique ou physique. Autrement dit, les méthodes de contrôle biologique ne sont pas suffisantes à elles seules pour exclure toute forme de traitement

chimique. Cependant, elles contribuent malgré tout à ce que l'utilisation de produits soit moins importante. Ainsi, l'existence de cette voie alternative permet ainsi de minorer les impacts environnementaux, biologique et la quantité de résidus dans les produits de ruches.

4. CONCLUSION

Aethina tumida est un coléoptère capable de réaliser un cycle biologique à partir de diverses sources de nourritures, mais qui se développe surtout au sein des ruches d'abeilles, dès que celles-ci sont disponibles dans son environnement.

Sa diffusion dépend de la capacité des abeilles à se défendre, via des mécanismes de défense et de résistance propres à la sous-espèce considérée, mais aussi des conditions environnementales qui peuvent être favorables ou non à son développement. Ainsi, en dehors des zones endémiques d'origines, ce coléoptère provoque l'effondrement des colonies d'*Apis mellifera*, même les plus robustes, et donne lieu à des pertes considérables. Ce coléoptère constitue une menace sérieuse sur le plan biologique et économique dans le monde apicole.

Son émancipation à travers les pays adjacents est facilitée par ses aptitudes de dispersion naturelle mais également par un mode de diffusion sur de longues distances via les déplacements d'apiculteurs transportant reines, abeilles, produits d'abeilles et/ou équipements d'apicultures. Les commerces apicoles nationaux et internationaux ont contribué à sa propagation transcontinentale, bien que le mécanisme de transport pour chaque cas d'introductions reste imprécis.

Sa diffusion peut être toutefois empêché par une détection rapide et la mise en place de périmètres de surveillance et de contrôle. Les moyens d'identification moléculaire permettent une reconnaissance précise et rapide de ce petit coléoptère des ruches. D'autres moyens de diagnostic sont également réalisables pour déterminer la présence ou non du coléoptère ainsi que le niveau d'infestation dans les cas où la propagation a déjà eu lieu.

Plusieurs méthodes de contrôle ont vu le jour pour lutter contre les infestations de ce coléoptère, en se basant sur des mécanismes physiques, chimiques et, plus récemment, biologiques, et certains sont disponibles sur le commerce. Chacune de ces méthodes présente des avantages et des inconvénients, et l'association de plusieurs d'entre elles est nécessaire pour endiguer efficacement le développement de la population d'*Aethina tumida*. Le choix d'une méthode se fera sur base des résultats de diagnostic, des conditions environnementales, des préférences de l'apiculteurs ainsi que de l'aspect financier impliqué.

5. BIBLIOGRAPHIE

Adrian J. Duehl, Richard T. Arbogast, Audrey B. Sheridan, Peter E. Teal, 2012, The influence of light on small hive beetle (*Aethina tumida*) behavior and trap capture, *Apidologie*, *Apidologie*, 43, 417-424.

Andrew G.S. Cuthbertson, Maureen Elizabeth Wakefield, Michelle E Powell, Gay Marris, Helen Anderson, Giles E. Budge, James J. Mathers, Lisa F. Blackburn et Mike A. Brown, 2013, The Small hive beetle *Aethina tumida*: A review of its biology and control measures, *Current Zoology*, 59, 644-653.

Anna Grannato, Bianca Zecchin, Chiara Baratto, Véronique Dusquesne, Enrico Negrisolo, Marie-Pierre Chauzat, Magali Ribière-Chabert, Giovanni Cattoli, Franco Mutinelli, 2017, *Apidologie*, 48, 194-203.

Alessandro Cini, Ugo Santosuosso, Alessio Papini, 2018, Uncovering the spatial pattern of invasion of the honeybee pest smallhive beetle, *Aethina tumida*, in Italy, *Revista Brasileira Entomologia*, 63, 12-17.

Cesar Valdovinos-Flores, Octavio Gaspar-Ramírez, María Elena Heras–Ramírez, Carlos Lara-Álvarez, José Antonio Dorantes-Ugalde, Luz María Saldaña-Loza, 2016, Boron and Coumaphos Residues in Hive Materials Following Treatments for the Control of *Aethina tumida* Murray, DOI:10.1371/journal.pone.0153551.

Clarence Collison, 2013, Biological control of the small hive beetle, *Bee Culture*, 21-24.

D. Hoffmann, J. S. Pettis and P. Neumann, 2008, Potential host shift of the small hive beetle (*Aethina tumida*) to bumblebee colonies (*Bombus impatiens*), *Insectes Sociaux*, 55, 153-162.

Dongmei Li, David W. Waite, Qing-Hai Fan, Sherly George, Linda Semeraro and, Mark J. Blackett, 2018, Molecular detection of small hive beetle *Aethina tumida* Murray (Coleoptera: Nitidulidae): DNA barcoding and development of a real-time PCR assay, *Scientific reports*, DOI:10.1038/s41598-018-27603-x

Fabrice Touzain, Magali Ribière-Chabert, 2017, Complete Mitochondrial Genome Sequence of *Aethina tumida* (Coleoptera: Nitidulidae), a Beekeeping Pest, *Genome Announcements*, 5, 1165-1167.

Franco Mutinelli, Fabrizio Montarsi, Giovanni Federico, Anna Granato, Andrea Maroni Ponti, Gianluca Grandinetti, Nicola Ferrè, Stéphanie Franco, Véronique Duquesne, Marie-Pierre Rivière, Richard Thiéry, Pascal Henriks, Magali Ribière-Chabert and Marie-Pierre Chauzat, 2014, *Journal of Apicultural Research*, 53, 569-575.

J.D. Ellis, S. Spiewok, K.S. Delaplane, S. Buchholz, P. Neumann, and W.L. Tedders, 2010, Susceptibility of *Aethina tumida* (Coleoptera: Nitidulidae) Larvae and Pupae to Entomopathogenic Nematodes, *APICULTURE AND SOCIAL INSECTS*, 103, 1-9

Lilia I. DE Guzman, Amanda M. Frake, Thomas E. Rinderer, and Richard T. Arbogast, 2011, Effect of Height and Color on the Efficiency of Pole Traps for *Aethina tumida* (Coleoptera: Nitidulidae), *Journal of Economic Entomology*, 104, 26-31.

Martine Bernier, Valérie Fournier, Les Eccles, Pierre Giovenazzo, 2015, Control of *Aethina tumida* (Coleoptera: Nitidulidae) using in-hive traps, *Can. Entomol*, 147, 97-108.

M. Bernier , V. Fournier , and P. Giovenazzo, 2014, Pupal Development of *Aethina tumida* (Coleoptera: Nitidulidae) in Thermo-Hygrometric Soil Conditions Encountered in Temperate Climates, *Journal of Economic Entomology*, 107, 531-537.

Megan Halcroft, Robert Spooner-Hart, Peter Neumann, 2011, *Insectes Sociaux*, 58, 245-253.

Paolo Silacci, Claudine Biolley, Corinne Jud, Jean-Daniel Charrière and Benjamin Dainat, 2018, An improved DNA method to unambiguously detect small hive beetle *Aethina tumida*, an invasive pest of honeybee colonies, *Wiley Online Library*, DOI: 10.1002/ps.5141.

Peter Neumann and James D Ellis, 2008, The small hive beetle (*Aethina tumida* Murray, Coleoptera: Nitidulidae): distribution, biology and control of an invasive species, *Journal of Apicultural Research and Bee World*, 47, 181-183.

Peter Neumann et Patti J. Elzen, 2004, The biology of the small hive beetle (*Aethina tumida*, Coleoptera: Nitidulidae): Gaps in our knowledge of an invasive species, *Apidologie*, 35, 229-247.

Peter Neumann, Jeff S. Pettis, Marc O. Schäffer, 2016, Quo vadis *Aethina tumida* ? Biology and control of small hive beetles, *Apidologie*, 47, 427-466

Richard T. Arbogast, Baldwyn Torto, Dennis van Engelsdorp and Peter E. A. Teal, 2007, An effective trap and bait combination for monitoring the small hive beetle, *Aethina tumida* (coleoptera: Nitidulidae), *Florida Entomologist*, 90, 404-406.

Richard T. Arbogast, Baldwyn Torto and Peter E. A. Teal, 2009, Monitoring the Small Hive Beetle *Aethina Tumida* (Coleoptera: Nitidulidae) with Baited Flight Traps: Effect of Distance from Bee Hives and Shade on the Numbers of Beetles Captured, *The Florida Entomologist*, 92, 165-166.

Véronique Duquesne, Aurélie Delcont, Anthéa Huleux, Véronique Beven, Fabrice Touzain, Magali Ribière-Chabert, 2017, Complete Mitochondrial Genome Sequence Of *Aethina tumida* (Coleoptera Nitidulidae), a Beekeeping Pest, *Genome Announcements*, 44, DOI: 10.1128/genomeA.01165-17

Vincenzo Palmeri, Giuseppe Scirto, Antonino Malacrino, Francesca Laudani, Orlando Campolo, 2015, A scientific note on a new pest for European honeybees: first report of small hive beetle *Aethina tumida* , (Coleoptera: Nitidulidae) in Italy, *Apidologie*, 46, 527-529.

William Michael Hood, 2015, The small hive beetle, *Aethina tumida*: a review, *Bee World*, 85, 51-59.