

STOMOXES : NUISANCE, VECTEURS POTENTIELS ET LUTTE INTÉGRÉE

STABLE FLIES: NUISANCE, POTENTIAL VECTORS, AND INTEGRATED PEST MANAGEMENT

Par Gérard DUVALLET¹

(manuscrit reçu le 21 août 2023, accepté le 11 octobre 2023)

RÉSUMÉ

Les stomoxes (Diptera : Muscidae : Stomoxyinae) sont des insectes hématophages d'importance médicale et vétérinaire. Cette sous-famille des Stomoxyinae comprend 52 espèces connues, réparties en 10 genres. Trois genres, *Stomoxys*, *Haematobosca* et *Haematobia* représentent des ectoparasites du bétail causant d'importantes pertes économiques dans les élevages. Le genre *Stomoxys* comprend 18 espèces reconnues. Mais la plupart des connaissances ont été acquises sur l'espèce cosmopolite *S. calcitrans*. Les stomoxes causent une importante nuisance pour les animaux d'élevage et sont des vecteurs mécaniques d'agents pathogènes. Le présent article résume une partie des études qui ont été menées depuis une vingtaine d'années sur les stomoxes dans différentes régions biogéographiques. Une meilleure connaissance de leur biologie et de leur écologie nous permet désormais d'évaluer l'efficacité et la faisabilité sur le terrain de nouvelles méthodes de contrôle, plus respectueuses de l'environnement que l'utilisation d'insecticides.

Mots-Clés : Stomoxes, Écologie, Phylogénie, Vecteurs, Élevage, Lutte

ABSTRACT

Stable flies (Diptera: Muscidae: Stomoxyinae) are bloodsucking insects of medical and veterinary importance. The subfamily Stomoxyinae includes 52 known species in 10 genera. Three genera, Stomoxys, Haematobosca, and Haematobia, represent important livestock pests causing significant economic losses in livestock sectors. The genus Stomoxys includes 18 recognized species. But most of the knowledge has been acquired about the cosmopolitan species S. calcitrans. Stable flies cause significant nuisance for livestock and are potential mechanical vectors of pathogens. The present publication attempts to summarize some of the studies that have been conducted over the past twenty years on stable flies in different biogeographic regions. A better knowledge of their biology and ecology now allows us to evaluate the effectiveness and feasibility in the field of new control methods, more environmentally friendly than the use of insecticides.

Keywords: *Stable flies, Ecology, Phylogeny, Vectors, Livestock, Control*

1- Professeur émérite, ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-8296-9522>, Université Paul-Valéry Montpellier 3.
Courriel : gduvallet@aol.com

INTRODUCTION

Les stomoxes, mouches piqueuses, étaient peu étudiées en France jusqu'à la fin des années 1990 ; seuls les Américains et les Canadiens avaient entrepris des recherches approfondies pour contrôler la seule espèce présente dans le Nouveau Monde, *Stomoxys calcitrans* (L. 1758), et des collègues français avaient indiqué les graves nuisances provoquées par les deux espèces présentes sur l'île de La Réunion (Barré 1981). Et nous avons à notre disposition une revue synthétisant toutes les données accumulées jusque-là ainsi que des clés d'identification (Zumpt 1973). Ces insectes me sont vite apparus comme un modèle d'étude permettant d'associer des recherches plus fondamentales sur leur origine, leur biologie, leur écologie, et des recherches plus finalisées devant permettre de comprendre leur rôle épidémiologique (simple nuisance et/ou rôle important de transmission d'agents pathogènes). Et de tester des méthodes de lutte efficaces tout en étant respectueuses de l'environnement. Cet article tente de résumer les recherches menées ces dernières années et les recherches en cours.

Après bien des modifications, il semble qu'un consensus place désormais les stomoxes (*Stomoxys* spp.) et genres voisins dans la sous-famille des Stomoxyinae, dans la famille des Muscidae (Diptera), dont l'espèce principale est la mouche domestique *Musca domestica* L., 1758 (Figure 1). Cette sous-famille comprend 10 genres et 52 espèces (Tableau 1) (Zumpt 1973 ; Pont & Mihok 2000 ; Pont & Dsouli 2009 ; Pont *et al.* 2020 ; Duvallet & Hogsette 2023). Les genres les plus importants en nombre d'espèces et nuisances pour l'Homme et ses animaux domestiques sont les genres *Stomoxys*, *Haematobosca* et *Haematobia*. Le genre *Stomoxys*, originaire de l'Ancien Monde, comprend 18 espèces, appelées vulgairement stomoxes (nom masculin). Parmi celles-ci, 17 ont une distribution tropicale, en grande majorité africaine ou asiatique, et une seule est cosmopolite *Stomoxys calcitrans*. Cette espèce est plus connue sous le nom de mouche des étables (« stable fly » en anglais britannique) ou mouche du chien (« dog fly » en anglais américain), mais aussi de mouche charbonneuse, en raison de son rôle dans la transmission du charbon, y compris à l'Homme (Duvallet *et al.* 2017).

Tableau 1 : Liste des genres et nombre d'espèces et taxa connus en 2023 dans la sous-famille des Stomoxyinae (Diptera: Muscidae).

Genres	Nombre d'espèces	Nombre de taxa*
<i>Rhinomusca</i> Malloch (1932)	2	2
<i>Neivamyia</i> Pinto & Fonseca (1930)	5	5
<i>Bruceomyia</i> Malloch (1932)	1	1
<i>Parastomoxys</i> Zumpt (1973)	1	1
<i>Prostomoxys</i> Zumpt (1973)	1	1
<i>Stygeromyia</i> Austen (1907)	2	2
<i>Haematobosca</i> Bezzi (1907)	15	15
<i>Haematobia</i> Lepeletier & Serville (1828)	6	9
<i>Haematostoma</i> Malloch (1932)	1	1
<i>Stomoxys</i> Geoffroy (1762)	18	20

* Taxa : espèces et sous-espèces.

QUELQUES RAPPELS

Morphologie

Ces mouches piqueuses, de 3 à 10 mm de longueur, hématophages, ont l'aspect d'une mouche domestique (Figure 1). Elles s'en distinguent par des pièces buccales adaptées à la piqûre et une nervation alaire différente. L'appareil buccal adapté à la piqûre, ou proboscis (trompe), est dirigé vers l'avant dans l'axe du corps et capable de percer la peau. Le proboscis (Figure 2) est composé de 3 longues pièces fortement sclérifiées, non rétractiles : un labium (lèvre inférieure), un labre (lèvre supérieure) et un hypopharynx, formant ensemble deux tubes. La salive est injectée dans le derme de l'hôte par le tube le plus fin, l'hypopharynx, tandis que le sang est aspiré par le tube le plus large formé par le labre et la partie dorsale de l'hypopharynx. Les deux sexes sont hématophages, le sang est nécessaire à leur reproduction mais les mouches s'alimentent aussi de nectar dont les sucres sont utilisés comme source d'énergie. Les pièces buccales et les antennes permettent de différencier les 3 genres principaux évoqués plus haut. Dans le genre *Stomoxys*, les palpes maxillaires sont courts, alors qu'ils sont aussi longs que le proboscis dans les deux autres genres. Les antennes permettent de différencier ces derniers : l'arista portée par le troisième article de l'antenne a des soies des côtés dorsal et ventral chez *Haematobosca* et uniquement du côté dorsal chez *Haematobia*. La partie postérieure de l'abdomen est modifiée pour la reproduction. Ainsi, l'examen à la loupe permet facilement de reconnaître les sexes. Chez le mâle, l'extrémité de l'abdomen est enroulée au repos et cachée ventralement, donnant à l'abdomen un aspect arrondi. Chez la femelle, l'extrémité constitue l'ovipositeur, rétracté au repos comme un tube télescopique ; seuls deux cerques caudaux sont visibles, et l'extrémité de l'abdomen est pointue. De plus, comme chez de nombreux diptères, les yeux composés sont beaucoup plus écartés chez les femelles que chez les mâles.



Figure 1 : *Stomoxys calcitrans* mâle : vue dorsale à gauche, vue ventrale à droite. © G. Duvallet

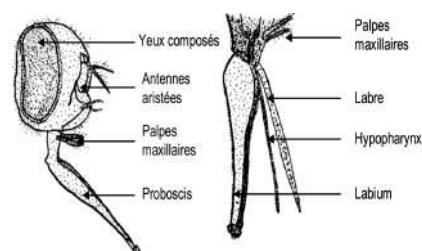


Figure 2 : Vues latérales de la tête et des pièces buccales de *Stomoxys* sp.

Biologie

Les stomoxes sont en général diurnes et piquent avec agressivité. Les hôtes préférentiels de *S. calcitrans* sont les animaux domestiques : ânes, chevaux, bovins, moutons, chèvres et chiens. Des stomoxes ont été aussi observés en train de se gorger sur des oiseaux (Johnson *et al.* 2010). En régions tropicales, elles peuvent aussi piquer buffles, chameaux et mammifères sauvages (Hafez & Gamal-Eddin 1959). Chez les bovins, les stomoxes se nourrissent préférentiellement au niveau de la partie inférieure des membres, et on peut obtenir un bon indice d'abondance dans les prairies en comptant les mouches sur les pattes avant à l'aide d'une paire de jumelles. *Stomoxys calcitrans* prend en général un repas de sang par jour. En dehors de leurs périodes d'activité, les stomoxes se reposent sur les murs ensoleillés, les palissades ou les végétaux denses (herbacés et arbustes) proches des animaux. Les femelles pondent leurs œufs dans de la matière végétale en décomposition, souvent souillée par les déjections des animaux : tas de fumier, mais aussi tas de gazon coupé, rou-

leaux de paille conservant un peu d'humidité, restes d'aliments autour des nourrisseurs dans les prairies, etc.

En revanche, les mouches des cornes, *Haematobia irritans*, restent en permanence sur le dos des animaux. On les voit là en nombre, côte à côte, souvent la tête dirigée vers le bas. Lorsque des mouvements péristaltiques du bovin annoncent la sortie prochaine d'une bouse, le groupe d'*Haematobia* se dirige vers l'arrière de l'animal. Et dès que la bouse est déposée, les femelles vont aussitôt y pondre leurs œufs. La nature et la qualité des sites de ponte sont influencées par les pratiques d'élevage (gestion des effluents) et la localisation géographique des exploitations (Meyer & Petersen 1983).

Le cycle de développement comprend 6 stades. Après accouplement, les femelles pondent des œufs qui éclosent en passant par trois stades larvaires successifs (asticots). La larve de stade III se transforme en puppe (ou nymphe). Puis adulte imago émerge de la puppe (Figure 3).



Figure 3 : Cycle de développement des stomoxes avec les différents stades. De gauche à droite : œuf (environ 1 mm de long), larves (jusqu'à 1 cm de long au stade L3), puppe (4 à 7 mm de long) et adulte.

Les adultes doivent rapidement prendre un repas de sucre pour produire l'énergie nécessaire au vol et les repas de sang afin de se reproduire avec succès. Les femelles ont besoin de plusieurs repas de sang pour produire des œufs (Killough & McKinstry 1965). Chez *S. calcitrans*, le cycle de vie, de l'œuf à l'adulte, dure en moyenne plus de 60 jours à 15°C mais moins de 12 jours à 30°C, la durée minimale étant observée à 31°C (Lysyk 1998). Les pupes de *S. calcitrans* tolèrent apparemment des températures comprises entre 20 et 30°C, mais leur mortalité augmente considérablement en dehors de cet intervalle de température (Gilles *et al.* 2005a).

Rôle pathogène direct

Pour le bétail, les effets directs liés à la piqûre sont principalement le harcèlement des animaux, les lésions cutanées, la réduction de l'alimentation, le stress, la spoliation sanguine et un effet immunodépresseur. Pour se protéger mutuellement, les animaux se regroupent, ce qui favorise la transmission d'agents pathogènes entre eux.

Les stomoxes entraînent ainsi des pertes économiques importantes dans les élevages. Aux États-Unis, en 2012, les pertes économiques infligées par les stomoxes à la filière élevage ont été évaluées à 2,2 milliards de dollars par an (Taylor *et al.* 2012). En France, les pertes ont été estimées à 145 et 234 millions d'euro

par an, respectivement dans la filière viande et lait (Blanc-Debrune 2019). Dans les régions tempérées, ce sont les effets pathogènes directs qui prédominent. Le harcèlement des animaux par ces mouches pendant la période de pullulation des insectes empêche les animaux de se nourrir correctement. Les chercheurs canadiens et américains ont estimé que 36 mouches en moyenne par patte avant sur les bovins entraînaient une baisse d'environ 20% du gain moyen quotidien. De même, une baisse de production laitière de 0,7% par mouche présente a été enregistrée, avec des baisses pouvant aller jusqu'à 40%.

Rôle vecteur

Les stomoxes sont des vecteurs mécaniques de nombreux agents pathogènes présents dans le sang et les tissus cutanés de leurs hôtes, spécialement le bétail, mais aussi parfois les humains. En cas de repas interrompu, lié à la douleur de la piqûre, les stomoxes peuvent reprendre leur repas de sang sur un autre hôte. En injectant de la salive avant l'absorption de sang, ils peuvent inoculer du sang infecté qui restait sur leurs pièces buccales. En plus de cette transmission immédiate, il a été observé que les stomoxes pouvaient conserver du sang dans leur jabot, où l'environnement est meilleur que l'intestin moyen pour la survie des agents pathogènes. Ces derniers peuvent être régurgités lors du repas de sang suivant. Ainsi, une transmission re-

tardée semble possible par les stomoxes (Coronado *et al.* 2004). Un tel mécanisme, dont il faudrait confirmer expérimentalement l'ampleur, a d'importantes conséquences épidémiologiques, puisqu'il permettrait une transmission inter-troupeaux d'agents pathogènes, alors que la transmission mécanique classique ne permet qu'une transmission intra-troupeaux (Baldacchino *et al.* 2013 ; Rochon *et al.* 2021).

En régions chaudes, la transmission d'agents pathogènes s'ajoute aux effets directs. Nous avons publié en 2013 une revue sur les agents pathogènes transmis par les stomoxes dans le monde en analysant 136 références bibliographiques (Baldacchino *et al.* 2013). Pour résumer, *S. calcitrans* est hôte intermédiaire de *Haemonema* sp., nématode parasite des muqueuses de la lumière intestinale des équidés. Mais les stomoxes sont surtout des vecteurs mécaniques de trypanosomes (*Trypanosoma evansi*, *T. vivax* et *T. brucei*) en régions tropicales. De même, plusieurs expériences et observations épidémiologiques indiquent que les stomoxes transmettent mécaniquement l'anaplasmose bovine due à la rickettsie *Anaplasma marginale* et la besnoitiose due au protozoaire *Besnoitia besnoiti* (Lienard *et al.* 2011 ; Sharif *et al.* 2019). Les stomoxes ont aussi été incriminés dans la transmission des virus de la leucose bovine enzootique, de la dermatose nodulaire contagieuse, de l'herpès bovin, de la peste porcine africaine, de la fièvre de la Vallée du Nil, de la stomatite vésiculeuse, de l'anémie infectieuse des équidés, mais il subsiste encore beaucoup d'incertitude et des recherches sont nécessaires (cf. Baldacchino *et al.* 2013). Autrefois, *S. calcitrans* était connu sous le nom de mouche charbonneuse, car elle est réputée transmettre d'un hôte à l'autre, *Bacillus anthracis*, agent causal de la fièvre charbonneuse. Les espèces sensibles à cette bactérie sont les ovins, les caprins, les bovins, les équins, les carnivores, les porcins et les Humains (Chantal 1997).

Écophysiologie

À une époque où l'on cherche à connaître les réponses qu'apporteront les différentes espèces vivantes aux changements climatiques, peu d'études d'écophysiologie sont menées sur les stomoxes. Gilles (2005b) a cherché à comprendre les différences physiologiques entre les deux espèces présentes sur l'île de La Réunion : *S. calcitrans*, cosmopolite, vivant dans les hauts de l'île et *S. niger niger*, tropicale, vivant à des altitudes plus basses dans les plantations de canne à sucre. Pour cela, l'île de La Réunion est un véritable laboratoire à ciel ouvert, puisque l'on peut passer en moins de 25 km, des zones tropicales en bordure de l'Océan Indien à des zones tempérées sur les pentes et les hauts des volcans. Gilles (2005b) a pu reconstituer, dans les conditions de laboratoire, les cycles de vie des deux espèces à différentes températures (15, 20, 25, 30 et 35°C). Il a pu alors conclure que les œufs des stomoxes sont très sensibles aux basses températures, que les pupes sont sensibles aux températures élevées, et que l'optimum de développement pour les stades pré-imaginaux (œufs, larves et pupes) se situe entre 20 et 30°C. La durée de vie de ces stades est inversement proportionnelle à la température. De plus, à 15°C, les femelles de l'espèce tropicale présentent une fécondité quasi-nulle alors que l'espèce cosmopolite est encore féconde. Toutes ces données permettent de calculer le taux r d'accroissement des populations à chaque tem-

pérature. À 15°C ce taux est positif pour *S. calcitrans* (population encore en croissance) mais négatif pour *S. niger niger* (population en régression). À partir de 25°C, les courbes se croisent : le taux r est plus élevé pour *S. n. niger* que pour *S. calcitrans*, ce qui montre la meilleure adaptation de *S. n. niger* aux régions chaudes (Gilles *et al.* 2005a ; 2005b). À noter que ces données apportent des informations très utiles pour un meilleur contrôle de ces mouches. Ainsi, au Canada, il a été conseillé de couvrir les tas de fumier avec une bâche noire pour en augmenter la température et ainsi tuer les pupes de mouches qui seraient présentes.

Dynamique de populations

De nombreux travaux ont été menés au Maroc, au Gabon et en Thaïlande sur les dynamiques journalières et saisonnières d'activité des stomoxes sous différents climats. Nous avons pu ainsi observer :

- que les populations de *S. calcitrans* présentent en France et au Maroc deux pics d'activité (au printemps et en automne), alors qu'en Thaïlande, les mouches sont actives tout au long de l'année avec un pic d'abondance durant la saison des pluies (Muenworn *et al.* 2010) ;
- que certaines espèces de stomoxes, notamment *S. indicus* et *S. sitiens* en Thaïlande, étaient plus actives à l'aube et au crépuscule alors que les autres espèces ont une activité diurne (Masmeathathip *et al.* 2006) ;
- que certaines espèces, notamment *S. calcitrans*, *S. niger niger* et *S. sitiens* étaient très anthropophiles, liées aux activités d'élevage, alors que les autres espèces étaient liées à la faune sauvage. Des observations ont été faites au Gabon où 8 espèces différentes ont pu être étudiées (Mavoungou *et al.* 2013a),
- que l'espèce *S. xanthomelas* vit au Gabon dans la canopée des arbres en zone forestière et prend la majorité de ses repas de sang sur les singes (Mavoungou *et al.* 2013b). Cette observation est très importante d'un point de vue épidémiologique, car cette espèce, qui se nourrit parfois aussi sur les humains, pourrait transmettre des agents pathogènes entre les populations de singes et les humains. La région de Makokou, dans l'est du Gabon, où cette observation a été faite, est appelée à un développement important lié à l'activité minière. L'augmentation du nombre de contacts singes-stomoxes-humains pourrait être à l'origine de l'installation d'arboviroses émergentes. Il faudrait aussi étudier la possibilité de zoonoses inverses : est-ce que l'humain ne risque pas de transmettre des viroses aux singes via les stomoxes ?

Phylogénie du genre *Stomoxys*

Dsouli *et al.* (2011a) ont étudié les relations phylogénétiques entre espèces du genre *Stomoxys* en se basant sur des critères morphologiques et moléculaires et ont tenté d'élucider l'histoire évolutive de ce genre. Pour cela, ils ont étudié 10 espèces du genre *Stomoxys* (sur les 18 connues dans le monde), ainsi que des espèces appartenant aux genres voisins *Prostomoxys* Zumpt, *Haematobosca* Bezzi et *Haematobia* Lepelletier et Serville. Les relations phylogénétiques ont été inférées en utilisant différentes méthodes (maximum de vraisemblance et méthodes bayésiennes) à partir des séquences de deux gènes

mitochondriaux (COI et CytB) et un gène nucléaire (ITS2). Parmi les résultats principaux de cette étude, il faut retenir que :

- dans l'ensemble des arbres phylogénétiques obtenus, l'espèce asiatique *Stomoxys indicus* apparaît comme la plus ancienne, toutes les autres étant des espèces sœurs de celle-ci. L'évaluation grossière des temps de divergence indique que le genre *Stomoxys* serait apparu il y a environ 30 millions d'années (durant l'oligocène) dans la région Orientale, et non en Afrique comme on le supposait jusqu'à présent. Il y a donc eu des migrations ultérieures entre Asie et Afrique ;

- l'espèce *Prostomoxys saegerae* apparaît dans tous les arbres au milieu des espèces du genre *Stomoxys*. Cela signifie que ce genre *Prostomoxys*, créé par Zumpt pour cette unique espèce en se basant sur un seul caractère morphologique (palpes maxillaires aussi long que le proboscis), devrait en fait être réintégré dans le genre *Stomoxys* ;

- les sous-espèces *S. niger niger* Macquart et *S. niger bilineatus* Grünberg, pour lesquelles nous avons déjà observé des écologies différentes lors de nos études au Gabon, montrent un temps de divergence d'environ 16 millions d'années. Elles devraient sans doute être considérées comme des espèces différentes. Il faudrait maintenant pouvoir valider ces résultats par des scénarios biogéographiques plausibles de liaisons entre régions orientale et afro-tropicale.

Phylogéographie de l'espèce cosmopolite *S. calcitrans*

Comme nous l'avons déjà indiqué, seule l'espèce *S. calcitrans*, parmi les 18 espèces connues, est cosmopolite. Dsouli *et al.* (2011b) ont cherché à comprendre les processus gouvernant la distribution géographique de cette espèce. La phylogéographie, en faisant appel à différentes disciplines (génétique moléculaire, génétique des populations, éthologie, démographie, phylogénie, paléontologie, géologie, géographie historique) nous renseigne sur la distribution des différentes lignées généalogiques. Le but de ce travail était donc de déduire les processus historiques ayant mené à la structuration génétique et géographique actuelle de *S. calcitrans* dans le monde. Dans cette étude, 20 populations provenant de 6 régions biogéographiques ont été analysées. Les séquences de trois gènes mitochondriaux (COI, CytB et NDI-16S) et un gène nucléaire (ITS2) ont été comparées. Les résultats montrent une différence importante entre les populations de la région Orientale et celles des autres régions (Afro-tropicale, Paléarctique, Néarctique, Néotropique et Océanienne). On observe ainsi deux lignées qui semblent s'être séparées au milieu du pléistocène (Dsouli *et al.* 2011b). Ces deux lignées appartiennent-elles encore à la même espèce ? Il faudrait maintenant établir là aussi des scénarios biogéographiques précisant l'origine de cette espèce et sa distribution à travers le monde. Il s'agit actuellement d'une espèce très anthropophile, vivant à proximité des humains et de leurs animaux domestiques, qui les a suivis dans toutes leurs pérégrinations.

MÉTHODES DE LUTTE

Toutes nos études de dynamique de populations montrent une relation évidente entre la propreté des fermes d'élevage et l'abondance de ces mouches. La première méthode de lutte est

donc environnementale et porte sur une bonne gestion des effluents de la ferme (fumier, lisier, paille humide, refus alimentaires, etc.). À l'île de la Réunion, un projet de lutte a fait appel à deux techniques complémentaires de la gestion des effluents : le piégeage des mouches avec des pièges Vavoua (leur couleur bleue est attractive pour les mouches) (Laveissière et Grébaut 1990) d'une part et le lâcher de parasitoïdes qui vont pondre dans les pupes de mouches. De nombreux modèles de pièges ont été proposés et utilisés pour le contrôle des populations de stomoxes (Rochon *et al.* 2021). Ces pièges, proposés initialement pour lutter contre les glossines ou les taons, ont presque tous en commun la couleur bleue phtalogène (Agee & Patterson 1983 ; Mihok 2002 ; Duvallat 2017). Ces recherches ont abouti à la mise au point d'écrans de couleur bleue pour contrôler les stomoxes en Thaïlande en France (Sharif *et al.* 2020 ; Desquesnes *et al.* 2021).

Il a été aussi proposé (Müller *et al.* 2012) d'adapter la technique ATSB (*Attractive Toxic Sugar Bait*) à la lutte contre ces mouches. Cette technique a montré son efficacité pour lutter contre les anophèles et les phlébotomes. En associant le « spraying » de sucres sur des systèmes attractifs à un insecticide le plus spécifique possible, peu toxique pour les pollinisateurs, permettant ainsi de contrôler ces populations de mouches autour de leurs gîtes larvaires. Les recherches sont en cours.

Mais à ces techniques plus respectueuses de l'environnement, s'ajoute trop souvent l'utilisation d'insecticides dans les fermes. Des études récentes montrent que les stomoxes sont devenus résistants à tous les insecticides commercialisés (Salem *et al.* 2012 ; Tainchum *et al.* 2018 ; Olafson *et al.* 2019 ; Barros *et al.* 2019 ; Reissert-Oppermann *et al.* 2019). C'est pourquoi nous avons récemment proposé une nouvelle méthode de lutte intégrée associant le piégeage des mouches adultes avec un nouveau piège commercialisé sous le nom de Stomoxyc® (Duvallat 2022) et, en même temps, le biocontrôle des stades préimaginaux en relâchant des parasitoïdes (*Spalangia cameroni* et *Muscidifurax raptor*) et des prédateurs (acariens *Macrocheles robustulus*) (Duvallat *et al.* 2023). Les parasitoïdes s'attaquent aux pupes en y pondant leurs œufs, les acariens dévorent les œufs de mouches et les larves de stade I. Cette méthode a été mise en place en juin 2022 dans un sanctuaire regroupant 154 ânes, mules et chevaux (El Refugio del Burrito) dans le Sud de l'Espagne. Parasitoïdes et prédateurs sont relâchés tous les mois sur la litière des animaux. Au total, 19 pièges Stomoxyc® ont été placés sur les 37 ha du refuge. Deux autres pièges ont été placés, à titre de référence, dans une ferme voisine où aucun traitement contre les mouches n'a été mis en place. Les pièges permettent d'analyser la dynamique de population des stomoxes. Des séquences vidéo prises tous les mois permettent d'analyser les mouvements des animaux, donnant ainsi des indications sur leur bien-être. Les résultats, en cours d'analyse, sont très prometteurs (Duvallat *et al.* 2023).

DISCUSSION

La sous-famille des Stomoxyinae comprend actuellement 18 espèces reconnues dans le genre *Stomoxys* (Zumpt 1973). Lorsqu'elles sont regroupées par diversité écologique, sept espèces sont synanthropes et, dans une certaine mesure, bénéfici-

cient particulièrement de la production animale. Onze espèces sont dépendantes de la faune sauvage pour leur développement, et on connaît peu de choses sur leur biologie dans de nombreux cas (Duvallat & Hogsette 2023). Les distributions mondiales comprennent une espèce cosmopolite (*S. calcitrans*), douze espèces trouvées uniquement en Afrique, quatre espèces trouvées uniquement en Asie et une espèce (*S. sitiens*) présente en Afrique et en Asie. L'analyse phylogéographique de *S. calcitrans* a montré une différenciation entre populations orientales (première lignée) et populations afro-tropicales, paléarctiques, néarctiques, néotropicales et océaniques (deuxième lignée) (Dsouli *et al.* 2011b). Le séquençage complet du génome de *Stomoxys calcitrans* (Olafson *et al.* 2021) permet d'envisager de meilleures possibilités de gestion des mouches dans le futur. Les études phylogénétiques du genre *Stomoxys*, utilisant 10 des espèces connues, ont permis de mettre en évidence les relations entre les espèces. Ces études permettent de supposer que l'es-

pèce *S. indicus* est à l'origine du genre *Stomoxys* dans la région orientale il y a 27 Ma (Dsouli *et al.* 2011a). Comme la plupart des connaissances sur les mouches *Stomoxys* ont été acquises auprès de l'espèce cosmopolite *S. calcitrans*, plus de recherches sur la biologie des autres espèces sont nécessaires. Non seulement les espèces connues pour être liées aux activités humaines, mais aussi d'autres espèces pourraient jouer un rôle dans la transmission d'agents pathogènes entre la faune sauvage et le bétail. Dans le même temps, en raison de la résistance croissante de ces mouches aux insecticides disponibles, des recherches supplémentaires sont également nécessaires sur de nouvelles méthodes de lutte plus durables et respectueuses de l'environnement : des systèmes de piégeage plus efficaces et spécifiques contre les mouches adultes, et un biocontrôle (parasitoïdes et prédateurs) contre les stades préimaginaux. Sans oublier, au préalable, une bonne gestion des effluents de la ferme.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie les avis et corrections d'un relecteur anonyme qui a grandement amélioré le manuscrit.

CONFLITS D'INTÉRÊTS

L'auteur déclare aucun conflit d'intérêt.

COMITÉ D'ÉTHIQUE

Le présent travail ne nécessite pas l'avis d'un comité d'éthique.

BIBLIOGRAPHIE

- Agee HR, Patterson RS. Spectral sensitivity of stable, face and horn flies and behavioral responses of stable flies to visual traps. *J Econ Entomol.* 1983; 12 : 1823–1828.
- Baldacchino F, Muenworn V, Desquesnes M, Desoli F, Charoenviriyaphap T, Duvallat G. Transmission of pathogens by *Stomoxys* flies (Diptera, Muscidae): a review. *Parasite.* 2013 ; 20: 26.
- Barré N. Les stomoxes ou “ mouche boeuf ” à La Réunion. Rapport I.E.M.V.T., Cirad-emvt, Montpellier, France, 1981, 90 pp.
- Barros ATM, Rodrigues VD, Cançado PHD, Domingues LN. Resistance of the stable fly, *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae), to cypermethrin in outbreak areas in Midwestern Brazil. *Rev. Bras. Parasitol. Veterinária.* 2019; 28: 5.
- Blanc-Debrune N. Impact économique des principales espèces de Diptères sur l'élevage bovin français et méthodes de luttés associées. Thèse de 3^{ème} cycle, Université Claude-Bernard-Lyon I, Villeurbanne, France, 2019, pp 1–140.
- Chantal J. Actualités de l'anthrax ou fièvre charbonneuse. *Médecine Tropicale.* 1997; 57 : 52S-60S .
- Coronado A, Butler JF, Becnel J, Hogsette J. Artificial feeding in the stable fly *Stomoxys calcitrans* and their relationship with the blood meal destination. In: Proceedings of the 1st international symposium and 2nd national symposium on haemoparasites and their vectors, Simon Bolivar University (USB), Caracas, Venezuela, 2004, 14-16 October 2004.
- Desquesnes M, Bouhsira E, Chalermwong P, Drosne L, Duvallat G, Franc M, *et al.* Insecticide-impregnated screens used under 'multi-target method' for haematophagous fly control in cattle: a proof of concept. In: Innovative strategies for vector control, vol 6 - Ecology and control of vector-borne diseases. Koenraadt CJM, Spitzen J, Takken W, editors. Wageningen Academic Publishers; 2021, pp 91-105.
- Dsouli N, Delsuc F, Michaux J, De Stordeur E, Couloux A, Veuille M, Duvallat G. Phylogenetic analyses of mitochondrial and nuclear data in haematophagous flies support the paraphyly of the genus *Stomoxys* (Diptera: Muscidae). *Infection, Genetics and Evolution.* 2011a; 11: 663–670.
- Dsouli N, Michaux J, De Stordeur E, Couloux A, Veuille M, Duvallat G. Global population structure of the stablefly (*Stomoxys calcitrans*) inferred by mitochondrial and nuclear sequence data. *Infection, Genetics and Evolution.* 2011b; 11: 334–342.
- Duvallat G. Le bleu, couleur fatale pour les stomoxes. *Insectes.* 2017 ; 184 : 21-25.
- Duvallat G, Baldacchino F, Desquesnes M. Stomoxysiini (Diptera: Muscidae: Muscinae). In : Entomologie médicale et vétérinaire. Duvallat G, Fontenille D, Robert V, editors. Marseille/Versaille : IRD/Quae Editions ; 2017, pp 391-403.
- Duvallat G, Hogsette JA. Global Diversity, Distribution, and Genetic Stu-

dies of Stable Flies (*Stomoxys* sp.). Diversity. 2023; 15.

- Duvallat G, Morel D, Barrio E, Gonzalez MA, Ruiz-Arondo I. Parasitoids, predators, and mass trapping for stable fly management, a new IPM approach. 10th International Congress of Dipterology, Reno, Nevada, USA, 16-21 July 2023. Disponible à : https://dipterist.org/assets/PDF/flytimes_supplement05.pdf
- Duvallat G. Evaluation of a new trap for stable and black flies. Arthropod Management Tests. 2022; 47(1): 1–2.
- Gilles J, David JF, Duvallat G. Effects of temperature on the rate of increase of *Stomoxys calcitrans* and *Stomoxys niger niger* (Diptera: Muscidae) from La Reunion Island. J Med Entomol. 2005a; 42: 959-965.
- Gilles J, David JF, Duvallat G. Temperature effects on the development and survival of two stable flies, *Stomoxys calcitrans* and *Stomoxys niger niger* (Diptera: Muscidae), in La Réunion island. J Med Entomol. 2005b; 42 (3): 260-265.
- Hafez M, Gamal-Eddin FM. On the feeding habits of *Stomoxys calcitrans* L. and *sitiens* Rond., with special reference to their biting cycle in nature. Bulletin de la Société d'Entomologie d'Égypte. 1959; 43: 291-301.
- Johnson G, Panella N, Hale K, Komar N. Detection of West Nile virus in stable flies (Diptera: Muscidae) parasitizing juvenile American white pelicans. J Med Entomol. 2010; 47: 1205-1211.
- Killough RA, McKinstry DM. Mating and oviposition studies of the stable fly. J Econ Entomol. 1965; 58: 489–491.
- Laveissière C, Grébaud P. The trapping tsetse flies (Diptera: Glossinidae). Improvement of a model: the Vavoua trap. Trop. Med. Parasitol. 1990; 41: 185–192.
- Liénard E, Salem A, Grisez C, Prévot F, Bergeaud JP, Franc M, Gottstein B, Alzieu JP, Lagalisse Y, Jacquiet P. A longitudinal study of *Besnoitia besnoiti* infections and seasonal abundance of *Stomoxys calcitrans* in a dairy cattle farm of southwest France. Veterinary Parasitology. 2011; 177 (1–2): 20-27.
- Lysyk TJ. Relationships between temperature and life-history parameters of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). J Med Entomol. 1998; 35: 107-119.
- Masmeathip R, Gilles J, Ketavan C, Duvallat G. First survey of seasonal abundance and daily activity of *Stomoxys* spp. (Diptera: Muscidae) in Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom Province, Thailand. Parasite. 2006; 13: 245–250.
- Mavoungou JF, Kohagne TL, Acapovi-Yao GL, Gilles J, Ketoh KG, Duvallat G. Vertical distribution of *Stomoxys* spp. (Diptera: Muscidae) in a rainforest area of Gabon. African Journal of Ecology. 2013b; 51: 147–153.
- Mavoungou JF, Picard N, Kohagne LT, M'batchi B, Gilles J, Duvallat G. Spatio-temporal variation of biting flies, *Stomoxys* spp. (Diptera: Muscidae), along a man-made disturbance gradient, from primary forest to the city of Makokou (North-East, Gabon). Medical and Veterinary Entomology. 2013a; 27: 339-345.
- Meyer JA, Petersen JJ. Characterization and Seasonal Distribution of Breeding Sites of Stable Flies and Houseflies (Diptera, Muscidae) on Eastern Nebraska Feedlots and Dairies. J Econ Entomol. 1983; 76: 103-108.
- Mihok S. The development of a multipurpose trap (the Nzi) for tsetse and other biting flies. Bull Entomol Res. 2002; 92: 385–403.
- Muenworn V, Duvallat G, Tainchum K, Tuntakom S, Akranatanakul P, Chareonviriyaphap T. Geographic distribution of *Stomoxys calcitrans* in Thailand. J. Med. Entomol. 2010; 47: 791–797.
- Müller GC, Hogsette JA, Beier JC, Traore SF, Toure MB, Traore MM, Bah S, Doumbia S, Schlein Y. Attraction of *Stomoxys* sp. to various fruits and flowers in Mali. Medical and Veterinary Entomology. 2012; 26: 178–187.
- Olafson PU, Kaufman PE, Duvallat G, Solórzano JA, Taylor DB, Trout Fryxell R. Frequency of *kdr* and *kdr-his* Alleles in Stable Fly (Diptera: Muscidae) Populations from the United States, Costa Rica, France, and Thailand. J Med Entomol. 2019; 56: 1145–1149.
- Olafson PU, Aksoy S, Attardo GM, Buckmeier G, Chen X, Coates CJ, et al. The genome of the stable fly, *Stomoxys calcitrans*, reveals potential mechanisms underlying reproduction, host interactions, and novel targets for pest control. BMC Biol. 2021; 19: 41.
- Pont AC, Duvallat G, Changbunjong T. A new species of *Haematobosca* Bezzi (Diptera: Muscidae) from Thailand. Zootaxa. 2020; 4763: 538-544.
- Pont AC, Dsouli N. A new species of *Haematobosca* Bezzi from Gabon (Diptera; Muscidae). Stud Dipterol. 2009; 15: 259–266.
- Pont AC., Mihok S. A new species of *Haematobosca* Bezzi from Kenya (Diptera; Muscidae). Stud Dipterol. 2000; 7: 25–32.
- Reissert-Oppermann S, Bauer B, Steuber S, Clausen PH. Insecticide resistance in stable flies (*Stomoxys calcitrans*) on dairy farms in Germany. Parasitol Res. 2019; 118: 2499–2507.
- Rochon K, Hogsette JA, Kaufman PE, Olafson PU, Swiger SL, Taylor DB. Stable Fly (Diptera: Muscidae)-Biology, Management, and Research Needs. J Integ Pest Manag. 2021; 12 : 38.
- Salem A, Bouhsira E, Liénard E, Bousquet Melou A, Jacquiet P, Franc M. Susceptibility of two European strains of *Stomoxys calcitrans* (L.) to Cypermethrin, Deltamethrin, Fenvalerate, -cyhalothrin, Permethrin and Phoxim. International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine. 2012 ; 10: 249-257.
- Sharif S, Liénard E, Duvallat G, Etienne L, Mongellaz C, Grisez C, et al. Attractiveness and Specificity of Different Polyethylene Blue Screens on *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). Insects. 2020; 11(9): 575.
- Sharif S, Jacquiet P, Prevot F, Grisez C, Raymond-Letron I, Semin MO, Geffré A, Trumel C, Franc M, Bouhsira É, Liénard E. *Stomoxys calcitrans*, mechanical vector of virulent *Besnoitia besnoiti* from chronically infected cattle to susceptible rabbit. Med Vet Entomol. 2019; 33: 247-255.
- Tainchum K, Shukri S, Duvallat G, Etienne L, Jacquiet P. Phenotypic susceptibility to pyrethroids and organophosphate of wild *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae) populations in southwestern France. Parasitol Res. 2018; 117: 4027–4032.
- Taylor DB, Moon RD, Mark DR. Economic impact of stable flies (Diptera: Muscidae) on dairy and beef cattle production. J Med Entomol. 2012; 49: 198–209.
- Zumpt F. The Stomoxyine biting flies of the world. Diptera: Muscidae. Taxonomy, biology, economic importance and control measures. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Germany, 1973, pp 175.