



Development of tools to control Palpalis group tsetse flies in West Africa

Thèse présentée à la Faculté des Sciences

Institut de Biologie

Université de Neuchâtel

Pour l'obtention du grade de Docteur ès Sciences

Par

Par Jean – Baptiste RAYAISSE

Soutenue le 25 Janvier 2011

Acceptée sur proposition du jury :

Dr Patrick GUERIN, Université de Neuchâtel
Dr Thomas KROBER, Université de Neuchâtel
Dr Philippe SOLANO, IRD/Montpellier
Pr Flobert NJIOKOU, Université de Yaoundé I
Pr Reginald de DEKEN, IMT/Anvers

Directeur de thèse
Examineur
Examineur
Rapporteur
Rapporteur

IMPRIMATUR POUR LA THESE

**Development of tools to control Palpalis
group tsetse flies in West Africa**

Jean-Baptiste RYAISSÉ

UNIVERSITE DE NEUCHATEL

FACULTE DES SCIENCES

La Faculté des sciences de l'Université de Neuchâtel,
sur le rapport des membres du jury

MM. P. Guerin (directeur de thèse), T. Kröber, P. Solano (Montpellier F),
F. Njiokou (Yaoundé, Cameroun) et R. De Deken (Anvers, B)

autorise l'impression de la présente thèse.

Neuchâtel, le 3 février 2011


Le doyen :
P. Kropf

Table des matières

| | |
|---|----|
| Liste des figures de la revue bibliographique..... | 7 |
| Liste des tableaux de la revue bibliographique | 7 |
| Liste des photos de la revue bibliographique | 7 |
| Dedicace | 9 |
| Remerciements | 11 |
| Abstract | 13 |
| Résumé..... | 15 |
| Chapitre I: Introduction | 17 |
| 1.1 Problématique et objectif | 17 |
| 1.2. Structuration de l'étude | 19 |
| Chapitre II: Revue Bibliographique | 21 |
| 2.1 Les Trypanosomoses Humaine et Animales | 21 |
| 2.1.1 Définition | 21 |
| 2.1.2 Distribution..... | 22 |
| 2.1.3 Epidémiologie | 23 |
| 2.1.3.1 Le parasite | 24 |
| 2.1.3.1.1 Description générale..... | 24 |
| 2.1.3.1.2 Classification des trypanosomes | 25 |
| 2.1.3.1.3 Les agents étiologiques | 27 |
| 2.1.3.2 Les hôtes..... | 27 |
| 2.1.3.3 Les vecteurs..... | 28 |
| 2.1.4 La lutte contre les trypanosomoses et les vecteurs..... | 31 |
| 2.1.4.1 La lutte contre le parasite | 31 |
| 2.1.4.2 La lutte au niveau de l'hôte | 32 |
| 2.1.4.3 La lutte contre les vecteurs..... | 33 |
| 2.1.4.3.1 La lutte indirecte..... | 33 |
| 2.1.4.3.2 La lutte directe..... | 34 |
| 2. 2 Les systèmes de captures des glossines..... | 36 |
| 2.2.1 Composition d'un piège | 36 |
| 2.2.2 Historique du piégeage..... | 36 |
| 2.2.3. Les pièges développés récemment | 38 |
| 2.2.3.1 Les pièges actuellement utilisés en Afrique de l'Ouest et du Centre..... | 38 |
| 2.2.3.2 Les pièges utilisés en Afrique de l'Est et du Sud..... | 40 |
| 2.2.3.3 Les écrans | 43 |
| 2.2.4 Facteurs influençant le rendement des pièges et écrans | 45 |
| 2.2.5 Avantages et insuffisances des pièges et écrans..... | 47 |
| 2.2.5.1 Les avantages | 47 |
| 2.2.5.2 Les insuffisances | 47 |
| 2.3 Les attractifs olfactifs | 47 |
| 2.3.1 Utilisation des attractifs dans le domaine agricole..... | 48 |
| 2.3.2 Les attractifs dans le domaine médical | 48 |
| 2.3.3 Les attractifs olfactifs dans la lutte contre les glossines..... | 49 |
| 2.3.3.1 Odeurs brutes d'hôtes..... | 49 |
| 2.3.3.2 Les attractifs de synthèse..... | 50 |
| 2.3.3.3 Les attractifs des plantes | 51 |
| 2.3.3.4 Les phéromones..... | 53 |
| 2.3.4 Les répulsifs dans la lutte contre les insectes..... | 54 |
| 2.3.5 Comportement général des glossines vis-à-vis des attractifs/répulsifs | 55 |

| | |
|---|-----|
| 2.3.5.1 Facteurs intrinsèques | 55 |
| 2.3.5.2 Facteurs extrinsèques | 56 |
| Chapter 3: Development of field attractants for palpalis group tsetse flies in Burkina Faso... | 67 |
| Chapter 4: Prospects for the development of odour baits to control the tsetse flies <i>Glossina tachinoides</i> and <i>G. palpalis s.l.</i> | 75 |
| Chapter 5: Field trials with candidate attractants | 97 |
| Chapter 6: Comparisons of shape, colour and materials of trapping devices | 111 |
| Chapter 7: General discussion..... | 137 |

Liste des figures de la revue bibliographique

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Distribution des foyers de THA (A ; OMS, 1986) et des TAA (B ; Cuisance, 2003) | 22 |
| Figure 2: Foyers historiques et récentes surveillances médicales (IRD/IPR, NCP, OMS 2000-2006) en Afrique de l'Ouest | 23 |
| Figure 3: Facteurs intervenant dans l'épidémiologie des TAA (de La Rocque <i>et al.</i> , 2001) | 24 |
| Figure 4: Schéma général d'un trypanosome | 24 |
| Figure 5 : Cycle de transmission de la THA | 27 |
| Figure 6 : Morphologie générale de la glossine | 29 |
| Figure 7 : Distribution des 3 groupes de glossines | 30 |

Liste des tableaux de la revue bibliographique

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Classification des trypanosomes | 26 |
| Tableau 2 : Classification zoologique des glossines | 30 |
| Tableau 3 : Principales espèces de glossines d'intérêt médical ou vétérinaire | 31 |
| Tableau 4: Aperçu de l'évolution des techniques de lutte contre les tsé-tsé (Nagel, 1995) | 33 |
| Tableau 5 : Aperçu de quelques systèmes de captures utilisés (Nagel, 1995) | 46 |
| Tableau 6 : Index de captures de différentes espèces de glossines vis-à-vis des attractifs individuels de synthèse autre que le CO ₂ | 52 |
| Tableau 7 : Index de captures de différentes espèces de glossines vis-à-vis de combinaisons d'attractifs de synthèse autre que le CO ₂ | 52 |

Liste des photos de la revue bibliographique

| | |
|--|----|
| Photo 1: Piège Harris | 37 |
| Photo 2 : Piège « crinoline » de Chorley | 37 |
| Photo 3 : Piège biconique Challier - Laveissière | 39 |
| Photo 4 : Piège monoconique Vavoua | 39 |
| Photo 5 : Piège monoconique Lancien | 40 |
| Photo 6 : Piège Nguruma | 41 |
| Photo 7 : Piège Epsilon | 41 |
| Photo 8 : Piège F3 | 42 |
| Photo 9 : Piège N'zi | 42 |
| Photo 10 : Ecran de Laveissière et Couret, 1981 a et b | 43 |
| Photo 11 : Ecran de Laveissière <i>et al.</i> , 1987 | 44 |
| Photo 12 : Ecran de Vale | 44 |
| Photo 13 : Sticky Cross Panel | 45 |

Dedicace

*A mon grand père, Koudougou de Namissi,
A mes grand-mères Saana, Wendyam et Poko,
Dont le souvenir me rappelle tant ma tendre enfance*

A ma mère Tanga Marie et à mon père Christophe, tous partis si précocement.

Je vous suis reconnaissant pour tout

Remerciements

Le document présent, fruit modeste de quatre années de travail n'aurait pu se réaliser sans l'appui et l'engagement de nombreuses personnes de bonne volonté. Aussi voudrais-je par ces mots, témoigner toute ma reconnaissance et à ma gratitude à tous ces hommes et femmes qui au long de ces longues années m'ont soutenu à plusieurs égards.

Je voudrais tout d'abord rendre à grâce à Dieu tout puissant pour cet accomplissement, lui qui m'a accordé la santé et la force nécessaires. Qu'il soit loué pour toute l'éternité. Amen !

Je reste redevable aux autorités du Ministère des Ressources Animales, plus précisément à Monsieur le Ministre des Ressources Animales et à Monsieur le Secrétaire Général pour avoir autorisé et facilité ma mise en détachement au CIRDES.

Ma gratitude va au Pr GOURO, Directeur Général du CIRDES pour avoir accepté m'accueillir dans sa structure d'abord en tant que stagiaire boursier du CIRDES puis en tant que chercheur. Cette gratitude va également aux Drs SIDIBE et BENGALY, respectivement Directeur Scientifique et Chef UR BIO, et aussi à l'ensemble des collègues chercheurs pour leur appui et leurs conseils si précieux. Egalement merci à M. Abdel Rachid OROUGUIDOU, le Directeur Administratif et à l'ensemble de son staff pour leur constante disponibilité. Merci aussi à Madame SOURA, chef du service de la documentation, Micheline ILBOUDO, chef du service informatique, Laurent SAWADOGO de la maintenance, Madame Mariam OUEDRAOGO et Oumarou BAMBA de la Direction Générale pour leur disponibilité.

Un clin d'œil amical à Simon Pierre KABORE, Bakofi OUATTARA, Denis OUEDRAOGO, Guy SANOU et Kioyé SIE, tous de l'insectarium.

Que dire de cette formidable « équipe terrain », à laquelle je dois toutes ces données collectées ? De Montionkuy dans les Banwa, à Folonzo dans la Comoé en passant par Kartasso dans le Kéné Dougou, elle a constamment été à mes côtés, toujours aussi dévouée que consciencieuse, avec un esprit d'équipe des plus positifs. Alors, grand merci à Issiaka BARRY, Ernest SALOU, Adama SANA, Boureima SANOU et Wilfrid YONI. A ce noyau, je joindrai Lancina SANOGO qui à chaque fois que son programme l'autorisait, a toujours répondu favorablement à mes sollicitations. Merci également à Céné BILA, à Félix et Youssouf SANOU.

L'équipe IRD/UMR 177 basée au CIRDES m'a agréablement surpris par son esprit d'ouverture et de partage. Je suis profondément reconnaissant au Dr Philippe SOLANO qui a accepté volontier m'encadrer, chose qui demande beaucoup de patience et d'engagement personnel. Merci également aux Drs Vincent JAMONNEAU, Bruno BUCHETON, Thierry de MEEUS et Fabrice COURTIN le géographe, tous de l'équipe « Trypano » pour leur soutien multiforme, y compris les quelques cuisses de perdreaux ou de pintades de temps à autre sur le terrain.

Depuis notre première rencontre voilà une quinzaine d'années, le Dr Patrick GUERIN de l'Université de Neuchâtel a toujours été généreux à mon égard. Après m'avoir accueilli dans son laboratoire de physiologie sensorielle, il n'a pas hésité à donner son accord pour être mon Directeur de thèse et à s'y investir. Grand merci à lui et à ses collègues et collaborateurs Thomas KROEBER, Andrew Mc MULLIN et Brigitte CATTIN.

En ma qualité d'élève de l'IMT/Anvers et membre du RIPROSAT, j'ai bénéficié à chaque fois que j'en avais besoin, des conseils utiles des Pr Redgi de DEKEN et Dirk BERKVENS mes superviseurs du Msc en Santé Animale à qui je dis merci. J'ai une profonde gratitude envers le Pr Peter VAN DEN BOSSCHE qui m'avait apporté son appui pour l'obtention de ma bourse, et qui malheureusement nous a quittés si brutalement voilà quelques mois. Qu'il repose en paix ! Je n'oublie pas Danielle de BOIS pour son soutien constant et Nadia EHLINGER qui a toujours été prompte à m'envoyer de la documentation.

Je me suis toujours senti en famille au PATTEC, structure avec laquelle les échanges ont été constants et mutuellement bénéfiques. Je réitère mes remerciements au Dr Sidibé, Coordinateur du Projet, à Mamadou OUEDRAOGO responsable du suivi-Evaluation, Zowindé KOUDOUGOU responsable SIG, et à mon ami Omar SERDEBEGO également de la cellule SIG, sans oublier le Dr Issa TAMBOURA et Alassane PERCOMA de l'équipe technique.

Egalement merci à Monsieur Paulin COMPAORE pour sa disponibilité et sa loyauté, qui m'a été d'un grand soutien à la Direction de l'ELAT.

L'essentiel des travaux a été exécuté dans le cadre des activités du Projet Bill Gates en collaboration avec la Liverpool School of Tropical Medicine (LSTM) et le Natural Resources Institute (NRI), et du Projet OMS-TDR piloté par l'Université de Neuchâtel en collaboration avec des partenaires du Sud comme du Nord à qui je dis merci.

Egalement merci à Steve MIHOK pour les photos des pièges de l'Afrique de l'Est qu'il a bien voulu me fournir.

Merci à mes frères et sœurs pour leur appui, à Valentin et Jeanne RAYAISSE, à mon oncle Seydou SAWADOGO, à Suzanne et Guillaume KABORE, à Dominique et Antoine SANON, à Marcelline et Rodrigue KABORE, à la famille BERTHE.

A mon épouse Adélaïde et aux garçons Patrick Wendyam, Mathys Pengdwendé et Auriol Wendpanga sachez que vous êtes la source de ma motivation quotidienne et comme on aime à le dire, s'il vous arrive de penser que je vous aime mal, alors dites vous que c'est parce que je vous aime trop. Merci pour la tendresse et le courage que vous avez toujours su me donner.

Abstract

Key words: *Glossina*, tsetse flies, disease vectors, host odours, tsetse fly trapping devices, vector control

Tsetse flies are vectors of Human and Animal African Trypanosomoses (HAT or sleeping sickness, and AAT or nagana, respectively). Tsetse fly traps and two-dimensional targets, when impregnated with insecticides, have constituted a central component of tsetse control campaigns in many countries in Africa. In order to make these tools more efficient and affordable, studies were undertaken to find the best visual and olfactory attractants for two species of the palpalis group, namely *Glossina palpalis gambiensis* and *Glossina tachinoides*.

We first assessed, in the Mouhoun and Sissili provinces of Burkina Faso, the effects of dispensing a mixture of 3-*n*-propylphenol, 1-octen-3-ol, para-cresol and acetone (POCA blend of semiochemicals) and other tsetse fly semiochemicals on captures of *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* in biconical traps. Adding the POCA blend caused an increase in trap capture of up to 2-fold for both species ($p < 0.05$). Adding a dispenser that released the sesquiterpene β -caryophyllene together with the POCA blend caused a further -though not significant- increase in trap capture (>2 -fold) for both species.

Field responses of *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* to odours from humans and cattle were also measured by baiting biconical traps and electrocuting black targets with natural host odours. The catch of *G. tachinoides* from traps was significantly enhanced (~ 5 -fold) by odour from cattle but not from humans, but in contrast, catches from electric targets showed inconsistent results. For *G. p. gambiensis*, both human and cattle odour increased (>2 -fold) the trap catch significantly but not the catch from electric targets. For *G. tachinoides* a blend of POCA alone or synthetic cattle odour (acetone, 1-octen-3-ol, 4-methylphenol and 3-*n*-propylphenol with carbon dioxide) consistently caught more tsetse than natural cattle odour. For *G. p. gambiensis*, POCA consistently increased catches from both traps and targets.

Field tests with other chemicals collected from natural cattle odours with an adsorbent filter did not induce any significant increase in catches when combined with the biconical trap. However in Folonzo, single chemicals such as benzaldehyde and 3-ethylacetophenone, both released at 10 times the natural doses increased biconical trap catches of *G. p. gambiensis* by 1.95 and 2.16 times, respectively. By contrast, biphenyl and a series of aliphatic aldehydes (heptanal, octanal, nonanal, décanal and undenal) reduced the trap catches for both species (sometimes by up to 50%) when released at natural doses, although these decreases in trap catches were not significant.

Traps (which are three-dimensional) were compared to blue-black targets (two-dimensional) to test their ability to induce flies to land on them. Both devices were made of phthalogen blue cotton and polyester/viscose black and both devices were covered with sticky tape to trap landing flies. Targets proved as efficient as biconical traps in attracting both *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides*. Comparing monoconical and biconical traps with and without sticky tape applied to them showed that ones with sticky tape caught at least 5 times more *G.p. gambiensis* and *G. tachinoides* than the traps without sticky tape, meaning that less than 20% of tsetse attracted to traps end up in the cage. As only $\sim 20\%$ of the tsetse flies (*G. p. gambiensis* and *G. tachinoides*) attracted to the vicinity of traps get caught, this suggests that better traps could be developed by an in-depth analysis of the visual responses and identification of any semiochemicals involved in short range interactions with attractive devices.

The results suggest that odour-baited traps and insecticide-treated targets could assist the African Union-Pan African Tsetse and Trypanosomiasis Eradication Campaign (PATTEC) in its current efforts to monitor and control palpalis group tsetse in West Africa. The results obtained with the POCA blend of semiochemicals is of particular interest for *G. p. gambiensis*, as it constitutes one of the rare occasions this species has been reported to show a clear response to olfactory attractants.

Résumé

Mots clefs : Glossine, mouche tsé – tsé, maladie vectorielle, odeurs des hôtes, systèmes de capture des glossines

Les glossines ou mouches tsé – tsé sont les principaux vecteurs de la Trypanosomose Humaine Africaine (Maladie du sommeil) et des Trypanosomoses Animales Africaines (Nagana). L'utilisation des pièges et écrans imprégnés d'insecticides ont toujours constitué une composante centrale dans la lutte contre ces vecteurs à travers plusieurs pays du continent Africain. Afin de rendre ces outils plus efficaces, des études ont été menées afin de trouver les meilleurs attractifs visuels et attractifs pour *Glossina tachinoides* et *Glossina palpalis gambiensis*, toutes deux du groupe Palpalis.

Dans les provinces du Mouhoun et de la Sissili tout d'abord, nous avons évalué l'effet du mélange de 3-n-propylphénol, de 1-octen-3-ol, de para-crésol et de l'acétone (POCA), de même que d'autres composés chimiques sur les captures de *G. tachinoides* et de *G.p. gambiensis* par des pièges biconiques. L'adjonction du POCA a entraîné une augmentation des captures de l'ordre de 2 fois pour les deux espèces ($p < 0.05$). L'ajout de B-caryophyllène ensemble avec le POCA améliore le rendement induit par le POCA, même si l'augmentation dans ce cas n'est pas significative.

La réponse de *G. tachinoides* et de *G. p. gambiensis* aux odeurs d'hommes et de bovins a aussi été mesurée sur le terrain en utilisant soit des pièges biconiques, soit des écrans noirs. Les captures de *G. tachinoides* par le piège biconique ont été significativement améliorées (x 5 fois) par les odeurs du bovin mais non par celles de l'homme, pendant que les essais avec l'écran n'ont donné des résultats consistants. Les captures de *G. p. gambiensis* par le piège biconiques ont été aussi augmentées (> 2 fois) aussi bien par les odeurs humaines qu'animales. Le POCA seul ou l'odeur synthétique de bovin (acétone, 1-octen-3-ol, 4-méthylphénol et 3-n-propylphénol avec du dioxyde de carbone) a entraîné plus de capture de *G. tachinoides* que l'odeur naturelle du bovin. Pour *G. p. gambiensis*, le POCA a amélioré de manière consistante les captures du piège comme de l'écran.

Les essais sur le terrain, d'autres composés chimiques collectés des odeurs de bovin avec un filtre n'ont montré aucune augmentation significative des captures par le piège biconique. A Folonzo cependant, des composés individuels tels que le benzaldehyde et le 3-ethylacetophenone, diffusés à dose 10 fois supérieures à la dose naturelle ont augmenté les captures de *G. p. gambiensis* par le piège biconique de 1.95 et de 2.16 fois respectivement. A l'opposé, le biphenyl et une série d'aldehydes aliphatiques (heptanal, octanal, nonanal, décanal et undenal) ont entraîné une réduction des captures des deux espèces (parfois jusqu'à 50%) quand ils sont diffusés à dose naturelle, bien que ces baisses n'étaient pas significatives.

Les pièges (tri-dimensionnels) ont été comparés aux écrans Noir-Bleu (bi-dimensionnels), pour tester leur habilité à induire l'atterrissage des glossines. Fabriqués avec du tissu phtalogène bleu et du tissu noir polyester/viscose, ils sont couverts de film adhésif qui retient les glossines qui se posent. Cela a montré que l'écran induit autant l'atterrissage des glossines que le piège biconique. La comparaison de pièges monoconiques et biconiques couverts et non couverts avec du film adhésif a montré que les pièges couverts de film capturent plus de 5 fois de *G. tachinoides* et de *G. p. gambiensis* que les pièges non couverts de film, ce qui signifie que moins de 20% des glossines attirées par les pièges sont capturées effectivement.

Ce faible pourcentage de glossines capturées suggèrent que de meilleurs pièges pourraient être développés en analysant de près le comportement des glossines et en identifiant des attractifs olfactifs qui agiraient à courte distance en interaction avec les pièges.

Nos résultats laissent penser que les pièges et écrans imprégnés d'insecticides auxquels on ajoute des attractifs olfactifs pourraient le aider le PATTEC (Campagne Panafricaine d'Eradication des Tsé –tsé et des Trypanosomes) dans ses efforts actuels de surveillance et de lutte contre les glossines du groupe Palpalis en Afrique de l'Ouest. Les résultats obtenus sur *G.p. gambiensis* avec le POCA sont d'un d'intérêt tout particulier, étant donné qu'ils constituent une des rares fois que cette espèce a montré une réponse claire aux attractifs olfactifs.

Chapitre I: Introduction

La glossine ou mouche tsé-tsé est un insecte unique dans le monde des vecteurs : hémaphage chez les deux sexes, il présente le paradoxe d'être à la fois l'un des diptères les plus évolués grâce à son mode de reproduction proche de la viviparité des mammifères, et d'apparaître très vulnérable aux méthodes de lutte par son faible taux de reproduction et le non-développement de résistance aux insecticides. Malgré cette vulnérabilité théorique, la mouche tsé-tsé est toujours responsable de la transmission de la Trypanosomose Humaine Africaine (THA) ou maladie du sommeil et des Trypanosomoses animales africaines (TAA) ou Nagana (Itard, 2003 ; Solano *et al.*, 2010).

Les glossines infestent plus de 9 millions de km² à travers une quarantaine de pays d'Afrique sub-saharienne et plus de 60 millions de personnes sont soumises au risque des trypanosomoses humaines avec plus de 40 000 nouveaux cas signalés chaque année et une centaine de décès par jour (WHO, 2006). Il faut toutefois signaler que les efforts médicaux commencent à avoir des retombées significatives puisqu'en 2008, moins de 10000 cas sont signalés (P. Simarro, com. pers.). L'élimination de la THA devient donc un objectif de l'OMS (Jannin, 2006).

Les Trypanosomoses Animales Africaines ont quant à elles été toujours parmi les principales contraintes sanitaires de l'élevage dans les pays sub-sahariens de l'Afrique (Hursey *et al.*, 1995). Les glossines gênent ou empêchent les productions animales sur près de 7 à 8 millions de kilomètres-carrés qui offrent pourtant de fortes potentialités fourragères et agricoles.

Plus de 50 millions de bovins et près de 100 millions de petits ruminants sont soumis au risque trypanosomien et les pertes causées par cette maladie sont estimées à 1,3 milliards de dollars US par an en Afrique, exclusion faite des bénéfices indirects tels que le fumier et la traction animale. Les bénéfices potentiels d'une lutte appropriée contre les TAA en termes seulement de productivité de lait et de viande s'élèveraient à plus 700 millions de dollars US par an (Kristjanson *et al.*, 1999). En plus de ces pertes, les coûts des traitements sont très élevés et selon la FAO (1998) au moins 25 à 30 millions de doses sont utilisées chaque année, pour un coût annuel de 30 millions d'Euros.

La présence de ce vecteur et des maladies qu'il transmet, constitue une préoccupation majeure, justifiant ainsi les différentes actions de lutte à travers tout le continent depuis le début du siècle passé (Da costa *et al.*, 1916 ; Harris, 1930 ; Cuisance *et al.*, 1984). De nos jours, l'Union Africaine a concrétisé cette préoccupation en lançant une campagne à l'échelle du continent dénommée Campagne Panafricaine d'Eradication des Tsé – tsé et des Trypanosomoses (PATTEC), pour venir à bout de la glossine et des maladies transmises (Kabayo, 2002).

Plusieurs méthodes de lutte existent (Itard, 2003 ; Cuisance *et al.*, 1994). Cependant, en l'absence de nouvelles molécules de traitement, et au vu de l'accroissement de la résistance aux trypanocides (Geert et Holmes, 1998), de l'impossibilité de contrôle du réservoir animal, c'est bien la lutte contre le vecteur avec pour objectif de rompre le cycle de transmission qui paraît la meilleure stratégie (Kuzoe et Schofield, 2005). Rendre cette lutte anti tsé-tsé plus efficace, durable, dans le but à long terme de réduire l'impact des trypanosomoses représente l'objectif principal des travaux présentés ici.

1.1 Problématique et objectif

Des différents moyens utilisés dans la lutte contre les glossines, le piégeage a demeuré une méthode largement adoptée et vulgarisée (Cuisance, 1984 ; Vale, 1974 ; Challier et Laveissière, 1973 ; Bauer *et al.*, 1999). Cela s'explique entre autre par l'efficacité des pièges,

leur facilité d'utilisation et leur coût relativement abordable. De plus, les pièges comme les écrans ont un avantage écologique en ce sens qu'ils sont spécifiques et non polluants. Les écrans sont exclusivement destinés à la lutte et diffèrent des pièges dans le fait qu'ils ne disposent pas de systèmes de capture. Leur format bidimensionnel les rend plus économiques, pratiques, sans altérer l'efficacité (Laveissière *et al.*, 1987).

Des pièges relativement efficaces contre des espèces bien précises existent, surtout en Afrique de l'Ouest où les pièges biconique Challier-Laveissière (Challier et Laveissière, 1973 ; Challier *et al.*, 1977) et monoconique Vavoua (Laveissière et Grébaut., 1990) sont couramment utilisés pour la capture des glossines riveraines ou de forêt dégradée mais aussi des savanes. Leur utilisation après imprégnation avec des insecticides peut aboutir à des résultats forts appréciables pour la lutte (Challier, 1984 ; Gouteux *et al.*, 1982). Au Burkina Faso, des réductions de densités de 94% pour *Glossina tachinoides* et 88% de *Glossina palpalis gambiensis* avaient été obtenues (Cuisance *et al.*, 1983 ; Laveissière, 1980).

Les leurres (pièges et/ou écrans) n'entraînent cependant qu'une réduction de densité jusqu'à un certain seuil, épargnant parfois des reliques de populations (Cuisance *et al.*, 1984).

Les travaux réalisés au Zimbabwe à la fin des années 70 – début des années 80 (Hargrove *et al.*, 1978 ; Vale , 1979 et 1980) ont permis de comprendre que les glossines repèrent leur hôte nourriciers partiellement grâce à des facteurs olfactifs. La possibilité d'utiliser des attractifs olfactifs imitant les odeurs des hôtes en adjonction aux pièges et aux écrans pour accroître leur rendement pourrait donc apparaître comme un important moyen de lutte contre les glossines. Un tel outil permettrait de réduire de manière significative le nombre de leurres au km². En effet, pour les glossines du groupe morsitans qui sont sensibles aux attractifs existant, leur utilisation a permis une réduction du nombre d'écrans à 4/km² (Willemse, 1991 ; Vale *et al.*, 1988), pendant que pour celles du groupe palpalis, 30 à 50 écrans sont toujours nécessaires pour la même superficie (Laveissière et Grébaut, 1990 ; Cuisance et Politzar, 1983 ; Challier *et al.*, 1977). L'obtention d'attractifs adéquats réduirait alors les coûts de la lutte anti vectorielle et permettrait ainsi son application dans la lutte contre la maladie du sommeil, ce qui n'est pas le cas actuellement.

Les différents travaux menés en Afrique Occidentale et Centrale ont cependant montré jusqu'à récemment que les glossines du groupe palpalis ne répondent que très peu aux produits pour lesquels celles du groupe morsitans sont sensibles (Mérot *et al.*, 1986 ; Amsler *et al.*, 1994a). Ces espèces riveraines sont pourtant les vecteurs essentiels de la maladie du sommeil à *T. brucei gambiense* et aussi des Trypanosomoses Animales Africaines (Solano *et al.*, 2010).

Etant donné l'impact socio-économique de la maladie (Kristjanson *et al.*, 1999 ; Winrock International, 1992), et du rôle joué par les espèces du groupe palpalis dans sa transmission, il est donc important de poursuivre les efforts dans la recherche de nouveaux produits (olfactifs comme visuels) plus efficaces contre ces espèces, ce qui induira une baisse des coûts de la lutte anti-vectorielle et la rendra plus accessible.

C'est ce qui justifie la présente étude dont le thème général est « *mise au point d'outils de lutte contre les mouches tésé – tsé du groupe Palpalis en Afrique de l'Ouest* ».

En plus de proposer de nouveaux attractifs pour les espèces du groupe palpalis, il s'agira aussi de trouver les solutions pour faciliter l'acquisition et l'utilisation de ces produits. En effet, même pour les attractifs trouvés efficaces contre les espèces du groupe morsitans, l'utilisation pratique dans le cadre d'un programme de lutte n'a été que très limitée dans quelques pays d'Afrique du Sud et de l'Est (Willemse, 1991 ; Dransfield *et al.*, 1990 ; Vale *et al.*, 1988), les nombreux tests ayant été faits seulement sous forme expérimentale.

1.2. Structuration de l'étude

Avant la présentation des différents sujets qui ont été abordés dans le présent travail, une introduction générale est faite sur les trypanosomoses humaine et animales africaines et leurs vecteurs, leur importance et distribution ainsi que les différentes méthodes de lutte (Chapitres 1 et 2).

L'étude en elle – même est subdivisée en 4 chapitres dont 3 plus axés sur les aspects olfactifs et le dernier sur les aspects visuels.

Les 3 chapitres sur l'olfaction sont intitulés comme suit :

1. *“Development of field attractants for palpalis group tsetse flies in Burkina Faso”*
2. *“Prospects for the development of odour baits to control the tsetse flies Glossina tachinoides and G. palpalis s.l.”*
3. *“Isolation, identification and screening of “new candidates” attractants from bovines in Burkina Faso”*

Le premier sujet (Chapitre 3) rapporte une étude faite en 2003 sur les attractifs olfactifs, pour les comparer, voir confirmer avec des études récentes (Chapitre 4) qui traitent aussi des attractifs de synthèse mais également des odeurs brutes des hôtes. La troisième partie (Chapitre 5) quant à elle fait cas des tentatives de recherche de nouveaux candidats olfactifs issus des odeurs des hôtes analysées en laboratoire.

Pour ce qui est de l'aspect visuel (Chapitre 6), il est intitulé : *“Comparison of shape, colour and materials of trapping devices”*.

Il s'agissait d'étudier l'importance de différents facteurs tels que la forme, la couleur et la nature des tissus sur le rendement des leurres. Dans ce chapitre également, nous faisons cas de l'efficacité de nos pièges usuels utilisés en Afrique de l'Ouest.

Pour chacun des 4 thèmes cités, il sera respectivement présenté la méthodologie utilisée, les résultats obtenus et la discussion. Le document sera clôturé par une discussion générale couvrant l'ensemble des travaux (Chapitre 7).

Chapitre II: Revue Bibliographique

2.1 Les Trypanosomoses Humaine et Animales

2.1.1 Définition

La Trypanosomose Humaine Africaine ou Maladie du Sommeil, et les Trypanosomoses Animales Africaines (Nagana, Surra) sont des maladies parasitaires dues à des protozoaires flagellés du genre *Trypanosoma*. Ceux-ci sont transmis majoritairement de manière cyclique, secondairement mécanique par des insectes vecteurs hématophages, particulièrement les glossines. Ils causent des affections à durée et à symptomatologie variables selon l'espèce affectée et l'agent pathogène en cause. Au niveau humain, on décrit deux formes : la trypanosomose ouest-africaine due à *Trypanosoma brucei gambiense* (Dutton, 1902) d'évolution lente et sommeilleuse; et la trypanosomose est-africaine, due à *Trypanosoma brucei rhodesiense* (Stephens et Fantham, 1910), d'évolution fatale plus rapide. Il existe deux périodes après l'incubation qui dure de 5 à 20 jours. La première période est la phase lymphatico-sanguine ou de généralisation, avec des symptômes non spécifiques tels que la fièvre, les adénopathies, l'hépatosplénomégalie et les signes cutanés qui témoignent de la dissémination des trypanosomes à tout le système histiomonocytaire.

La deuxième période, qui correspond à la pénétration du trypanosome dans le système nerveux central, est la phase de polarisation cérébrale ou phase méningo-encéphalitique caractérisée par une encéphalite mésoenchymateuse périvasculaire et démyélinisante. Elle se produit après des délais très variables selon les individus et/ou les souches de trypanosomes, de quelques semaines à plusieurs années. A cela s'ajoutent des troubles sensitifs, psychiques, moteurs, neuro-endocriniens et du sommeil qui peuvent aboutir à la mort. Les formes aiguës, voire suraiguës de la maladie à *T. brucei gambiense* sont mortelles en quelques semaines avant l'apparition des signes de polarisation cérébrale.

La trypanosomose au niveau des animaux a plusieurs appellations selon l'agent causal (trypanosome). Ainsi, le terme « Nagana » est utilisé pour désigner les affections dues aux trypanosomes typiquement africains transmis par les glossines dont les plus courants sont notamment *Trypanosoma congolense*, (Brodin, 1904) *T. vivax*, (Chalmer, 1908) et *T. brucei brucei* (Plimmer et Bradfort, 1899).

Le terme Surra désigne la trypanosomose des camélidés, des équidés et parfois des bovidés, due à *T. evansi* transmis par les insectes piqueurs autres que les glossines (tabanides, stomoxes, en Asie notamment, mais aussi en Afrique du Nord et au moyen Orient ainsi qu'en Amérique centrale et du sud) ainsi que par des chauve-souris vampires en Amérique latine.

La Dourine quant à elle désigne la trypanosomose contagieuse des équidés due à *T. equiperdum* qui est transmise sexuellement.

Il a récemment été montré que *T. equiperdum* et *T. evansi* ne méritaient pas le nom d'espèce et appartenaient à l'espèce *T. brucei* (Lai et al., 2008).

Au niveau animal, les signes les plus généraux sont l'hyperthermie, l'anémie, les œdèmes, les chancres et l'adénopathie. Ces signes sont accompagnés par des atteintes oculaires, nerveuses, et de l'amaigrissement et peuvent se terminer par la mort de l'animal s'il n'est pas traité à temps (Itard, 2000).

Comme pour la maladie du sommeil, la période d'incubation est variable selon le parasite et dure d'une à quelques semaines, en liaison avec les parasitémies successives. Il y a ainsi les formes aiguës dont le premier accès est mortel ; les formes subaiguës où on observe plusieurs accès de 3 à 6 jrs séparés par des rémissions de 6 à 8 jours et qui conduisent à la mort en 7 - 8

semaines. Enfin, il y a les formes chroniques avec des accès légers, séparés par de longues périodes apparemment silencieuses.

Des trypanosomoses humaines sont aussi rencontrées en dehors du continent africain. Ainsi, la trypanosomose due à *Trypanosoma cruzi* (maladie de Chagas), transmise par des punaises hématophages (réduves) est répandue à l'état endémique, depuis le Texas (19° de latitude nord) jusqu'au nord de l'Argentine (39° de latitude sud).

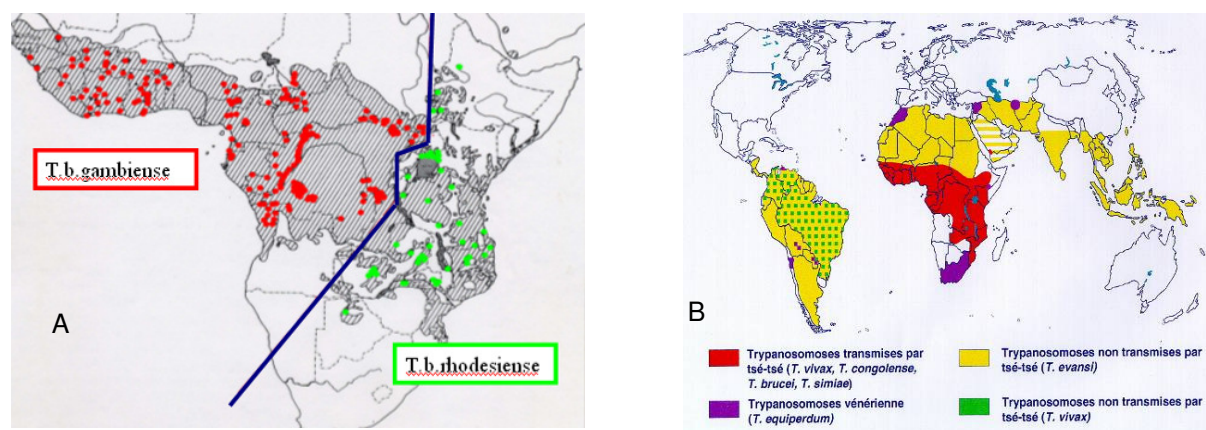
L'infection à *Trypanosoma rangeli* est connue chez l'homme et les animaux, en Amérique centrale et en Amérique du Sud. Bien que *T. rangeli* ne soit pas pathogène, sa présence chez les animaux, qui hébergent *T. cruzi*, doit être connue pour éviter la confusion avec celui-ci.

2.1.2 Distribution

L'aire de répartition de la THA est directement liée à celle de la glossine qui infeste plus de 9 millions de km² à travers une quarantaine de pays d'Afrique sub-saharienne. Elle se situe en Afrique intertropicale, entre les latitudes 15°Nord et 29° Sud (Figure 1, A). La maladie cependant ne recouvre pas l'ensemble de la zone de répartition des glossines, sa limite dépendant de l'existence de conditions épidémiologiques favorables à son apparition ou à son maintien (Laveissière et Penchenier, 2005) : la THA est présente sous forme de foyers.

Du fait qu'elles sont aussi transmissibles par d'autres vecteurs ou par d'autres voies (transmissions mécanique et sexuelle), les TAA peuvent se rencontrer en dehors des limites de répartition des glossines (Figure 1, B). Il faut en particulier signaler un épisode récent de Trypanosomose à *T. evansi* dans le sud de la France sur des dromadaires (Desquesnes *et al.*, 2006).

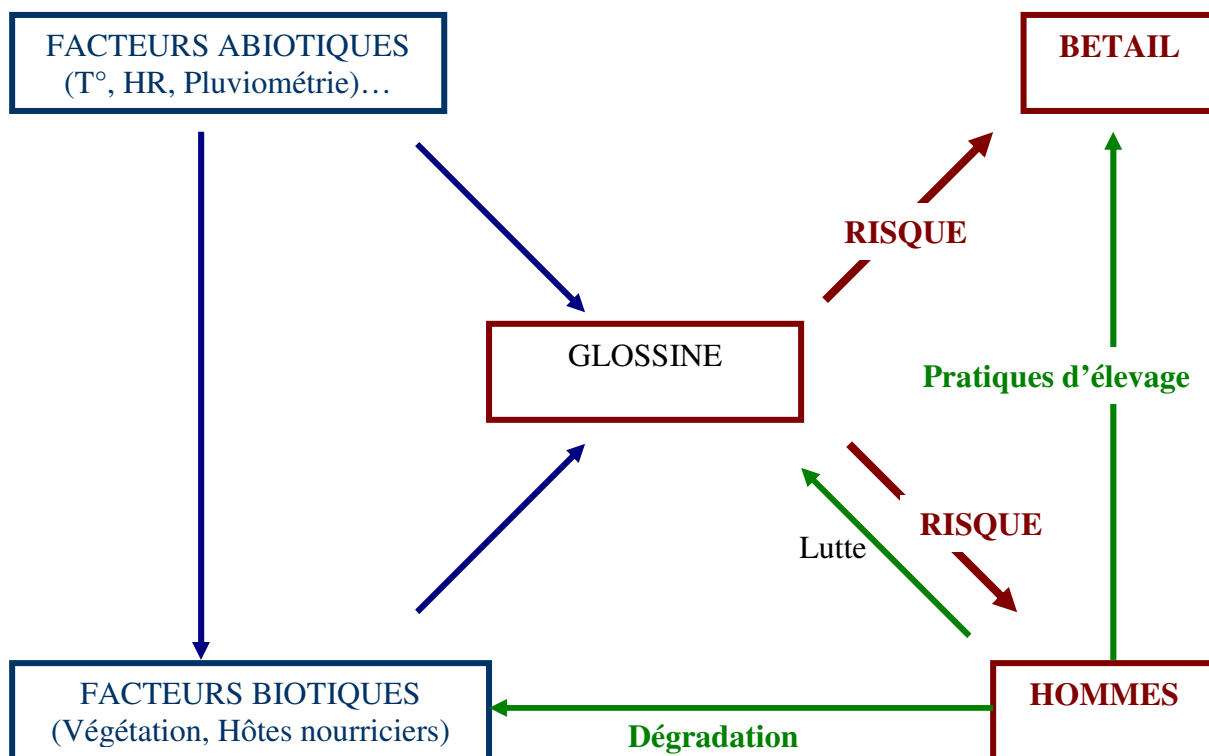
Figure 1 : Distribution des foyers de THA (A ; OMS, 1986) et des TAA (B ; Cuisance, 2003)



En Afrique de l'Ouest, la situation de la maladie du sommeil de 2000 à 2006 se présente comme indiquée dans la Figure 2 (Courtin *et al.*, 2008). Elle pourrait être résumée de la manière suivante :

- Une situation stable au Bénin, Burkina, Mali, Sénégal et Togo où aucun cas autochtone n'a été dépisté pendant cette période (des cas de THA sont présents au Burkina Faso, sur des travailleurs agricoles de retour de Côte d'Ivoire).
- Une situation critique en Guinée, suivie de la Côte d'Ivoire, probablement favorisée par les troubles politiques de ces dernières années.
- Et une situation inconnue dans les pays anglophones, notamment au Ghana, Libéria et Sierra Leone

Figure 3: Facteurs intervenant dans l'épidémiologie des TAA (de La Rocque *et al.*, 2001).

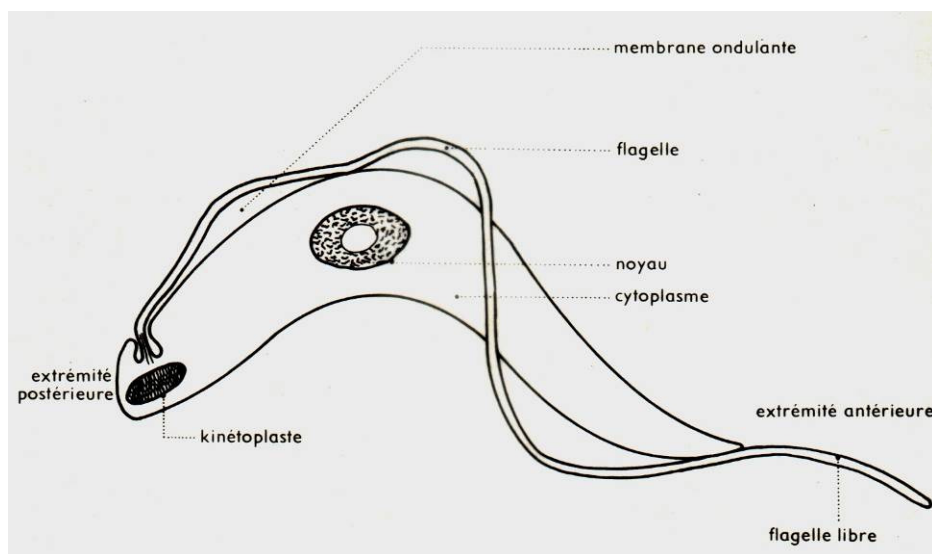


2.1.3.1 Le parasite

2.1.3.1.1 Description générale

Ce sont des êtres vivants constitués d'une cellule munie d'un flagelle (Figure 4) se trouvant dans le sang, où ils se déplacent entre les différentes cellules comme les globules rouges et blancs, et d'autres liquides biologiques.

Figure 4: Schéma général d'un trypanosome



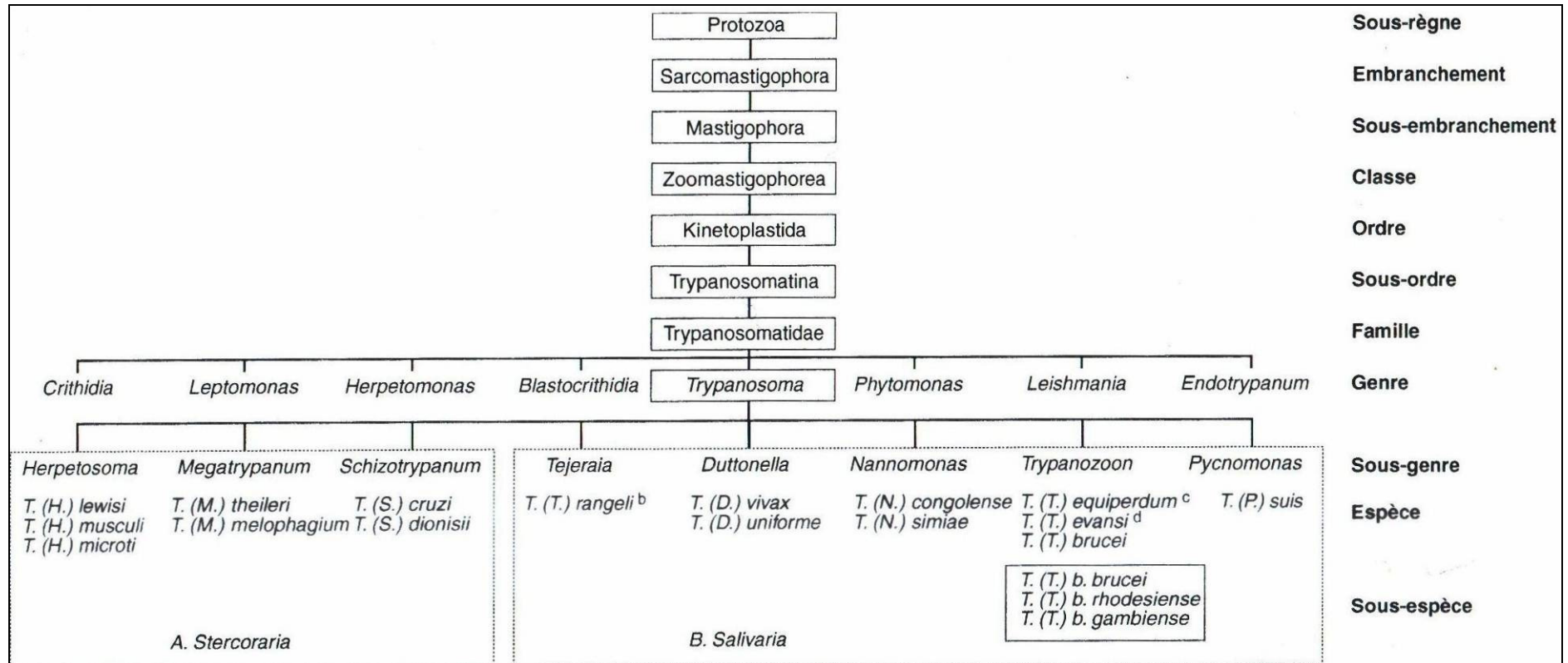
2.1.3.1.2 Classification des trypanosomes

D'après la classification d'Hoare (1972) revue par Lévine *et al.* (1980) et Anez (1982), (Tableau 1), les trypanosomes agents des trypanosomoses africaines sont des Protozoaires de la famille des *Trypanosomatidae* (Döflein, 1901), du genre *Trypanosoma* (Grüby, 1943). La classification au sein de ce genre a été établie en fonction du mode de transmission des parasites de l'invertébré à l'hôte.

La Section Stercoraria comprend des espèces peu ou pas pathogènes et une espèce très pathogène (*T. cruzi*) que l'on ne rencontre pas en Afrique. Elle se caractérise par un mode de transmission postérograde, les formes infectantes se trouvant dans la partie postérieure du tube digestif de l'insecte vecteur. L'infestation se fait après dépôt de fèces, par pénétration des trypanosomes dans la peau. Cette section comprend les genres *Megatrypanum* (dont *T. theileri* transmis par les tabanides très commun et répandu dans le monde), *Herpetosoma* (*T. lewisi*, parasite du rat) et *Schizotrypanum* (*T. cruzi*, agent de la maladie de Chagas transmis par les réduves).

La section Salivaria comprend tous les trypanosomes pathogènes existant sur le continent africain et se caractérise par un mode de transmission antérograde, par inoculation par les pièces buccales des mouches tsé - tsé, leurs hôtes intermédiaires lors des repas sanguins (sauf *T. equiperdum*).

Tableau 1 : Classification des trypanosomes



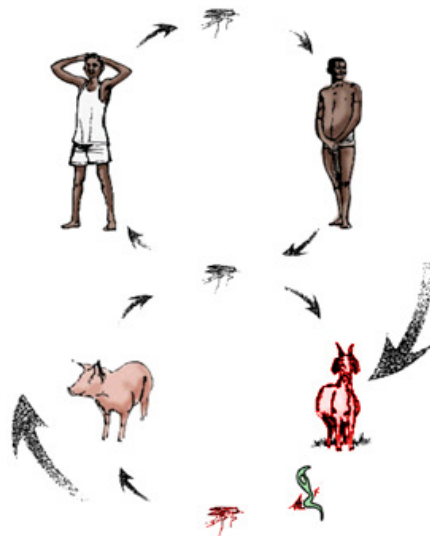
2.1.3.1.3 Les agents étiologiques

La maladie du sommeil est causée en Afrique, par 2 sous-espèces de *Trypanosoma brucei ssp*, qui se subdivise classiquement en 2 sous-espèces. Ainsi, les taxons en cause sont:

- *T. b. gambiense* responsable de la THA en Afrique Occidentale et Centrale. Il représente 80 % des trypanosomes humains), et a été identifié chez les glossines du groupe palpalis, et chez divers animaux sauvages et domestiques, notamment les porcs (Jamonneau *et al.*, 2004). Le cycle de transmission homme - mouche - homme semble prédominer mais bien qu'on ait longtemps considéré *T. b. gambiense* comme un parasite spécifiquement humain, l'existence d'un réservoir animal domestique ou sauvage dans les zones à risque a été mise en évidence (Mehlitz, 1986 ; Simo *et al.*, 2006). Toutefois son importance réelle dans l'épidémiologie de la THA reste douteuse et controversée.

- *T. b. rhodesiense*, responsable d'une forme aiguë de la maladie en Afrique de l'Est et Australe. Il est principalement transmis par des glossines du groupe morsitans qui vivent dans les régions de savanes. Une vaste gamme d'animaux domestiques (bovins, porcs, chiens, moutons, chèvres) et sauvages (guib, phacochères, potamochères) constitue un réservoir très important de la maladie dont la transmission à l'homme (souvent considéré comme hôte accidentel) se fait suivant le cycle animal sauvage ou domestique-mouche-homme.

Figure 5 : Cycle de transmission de la THA



Les agents étiologiques des trypanosomoses animales sont beaucoup plus diversifiés comme le sont aussi leurs hôtes, comme indiqué dans le paragraphe 4 de la définition en section 2.1.1.

En dehors des zones classiques de TAA, on peut retrouver :

- *T. melophagium* principalement en Europe, cité en Afrique du nord, Canada, Australie, Argentine, Colombie (dans Desquesnes, 1997). Sa présence semble corrélée à celle de son vecteur (*Melophagus ovinus*, Hippoboscidés).

2.1.3.2 Les hôtes

Ce sont les animaux de différentes espèces qui hébergent les trypanosomes, soit sans effet pathogène, soit qui en sont les victimes, et qui sont donc aussi pourvoyeurs de repas de sang

pour les insectes vecteurs. De très nombreuses espèces animales (ruminants, suidés, camélidés, équidés, etc.) tant domestiques que sauvages, sont affectées par diverses espèces de trypanosomes, avec des affinités plus ou moins prononcées.

Chez les bovins en général, les infections à *T. vivax* sont fréquentes en Afrique orientale et dans quelques régions d'Afrique centrale, mais sont généralement considérées comme moins graves chez le zébu que celles dues à *T. congolense*. Cependant, certaines souches de trypanosomes d'Afrique de l'Est peuvent provoquer, chez les bovins adultes, une maladie suraiguë, caractérisée par une parasitémie d'emblée élevée et persistante, de la fièvre, une profonde anémie, des hémorragies généralisées des viscères, en particulier du tracus gastro-intestinal et des muqueuses. Les bovins qui survivent au delà des 40 jours arrivent à contrôler leur parasitémie et à retrouver une apparence de bonne santé sans traitement.

En Afrique Occidentale par contre, *T. vivax* est largement répandu et la maladie est considérée comme plus grave qu'en Afrique Orientale, les zébus y étant très sensibles.

T. congolense type savane est l'espèce la plus pathogène pour les bovins, et les zébus y sont les plus sensibles, pendant que le type savane ne provoque aucune pathologie (Bengaly *et al.*, 2002).

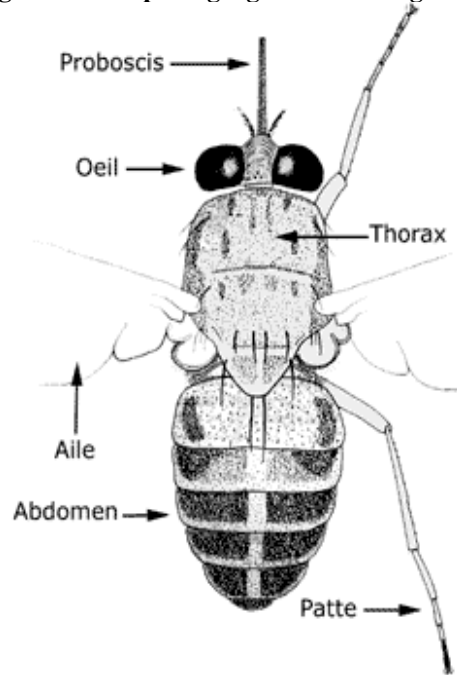
L'infection à *T. brucei brucei* est rarement aiguë et ne provoque pas de symptômes nets, la maladie évoluant en général, très lentement, avec des poussées fébriles intermittentes.

Bien que les petits ruminants soient sensibles aux différents trypanosomes qui affectent les bovins, les ovins et les caprins ne présentent pas, en général, de signes cliniques de trypanosomose. En effet, les races sahéliennes, les plus sensibles, évitent les régions infestées de glossines alors que, dans les zones guinéennes, les races naines locales sont parfaitement résistantes.

2.1.3.3 Les vecteurs

Les glossines ou mouches tsé-tsé sont les principaux vecteurs des trypanosomoses aussi bien humaines qu'animales. Elles en constituent aussi un réservoir principal, la mouche une fois infectée le restant toute sa vie. Ce sont des insectes diptères typiquement africains, appartenant à la famille des *Glossinidae* qui comprend un seul genre qu'est le genre *Glossina*. Ce sont des mouches allongées, robustes, de coloration brun-noirâtre à brun testacé, jamais métallique. Leur longueur sans la trompe est comprise entre 6 et 16 mm et leur poids de 7 à 80 mg. Sa morphologie et son aspect extérieur n'en font pas un insecte extraordinaire. Seule une trompe piqueuse saillante révèle l'hématophagie de cette mouche (dans les deux sexes) et des ailes puissantes croisées en ciseaux au repos lui offrent une capacité de vol (Figure 6).

Figure 6 : Morphologie générale de la glossine



On dénombre une trentaine d'espèces et sous espèces de glossines réparties en trois sous-genres ou groupes en fonction des caractères de morphologie externes et de la répartition géographique, ainsi que de certains facteurs bioécologiques (Itard *et al.*, 2003 ; Figure 7). Ainsi, on a :

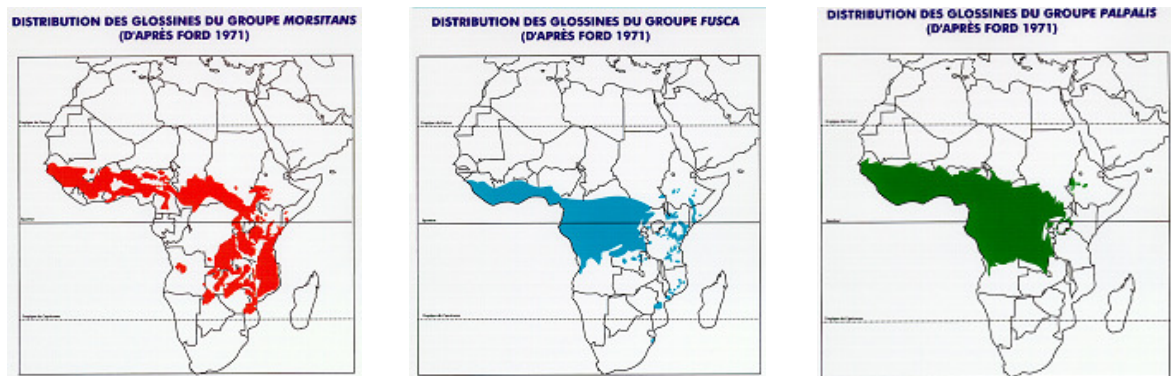
- le sous-genre *Nemorhina* ou groupe *palpalis* qui regroupe 9 (neuf) espèces riveraines infestant surtout la végétation dense bordant le système hydrographique d'Afrique Centrale et Occidentale.
- le sous-genre *Glossina* ou groupe *morsitans* comprenant 7 (sept) espèces qui fréquentent les savanes boisées, et se répartissent sur l'ensemble du continent.
- le sous-genre *Austenina* ou groupe *fusca* rassemblant une quinzaine d'espèces vivant presque toutes dans les forêts ombrophiles ou dans les galeries forestières larges et denses d'Afrique Equatoriale (Tableau 2).

Tableau 2 : Classification zoologique des glossines

| | |
|--|--|
| CLASSE ORDRE SOUS-ORDRE INFRA-ORDRE SERIE SUPER-FAMILLE FAMILLE | INSECTES DIPTÈRES BRACHYCERES CYCLORRAPHES SCHIZOPHORES MUSCOIDEA GLOSSINIDAE |
| Genre | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Glossina</div> |
| Sous-genres | <hr style="width: 100%; border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 0;"/> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> Austenina <i>gr. fusca</i> </div> <div style="text-align: center;"> Glossina <i>gr. morsitans</i> </div> <div style="text-align: center;"> Nemorhina <i>gr. palpalis</i> </div> </div> |
| Espèces | <div style="width: 30%;"> <i>G. brevipalpis</i> <i>G. frezilli</i> <i>G. fusca congolensis</i> <i>G. fusca fusca</i> <i>G. fuscipleuris</i> <i>G. haningtoni</i> <i>G. longipennis</i> <i>G. medicorum</i> <i>G. nashi</i> <i>G. nigrofusca nigrofusca</i> <i>G. schwetzi</i> <i>G. severini</i> <i>G. tabaniformis</i> <i>G. vanhoofi</i> </div> <div style="width: 30%; text-align: center;"> <i>G. austeni</i> <i>G. longipalpis</i> <i>G. morsitans centralis</i> <i>G. morsitans morsitans</i> <i>G. morsitans submorsitans</i> <i>G. pallidipes</i> <i>G. swynnertoni</i> </div> <div style="width: 30%;"> <i>G. caliginea</i> <i>G. fuscipes fuscipes</i> <i>G. fuscipes martinii</i> <i>G. fuscipes quanzensis</i> <i>G. pallicera pallicera</i> <i>G. palpalis gambiense</i> <i>G. palpalis palpalis</i> <i>G. tachinoides</i> </div> |

J. Brunhes - D. Cuisance - B. Geoffroy - J.P. Hervy - J. Lebbe, 1996

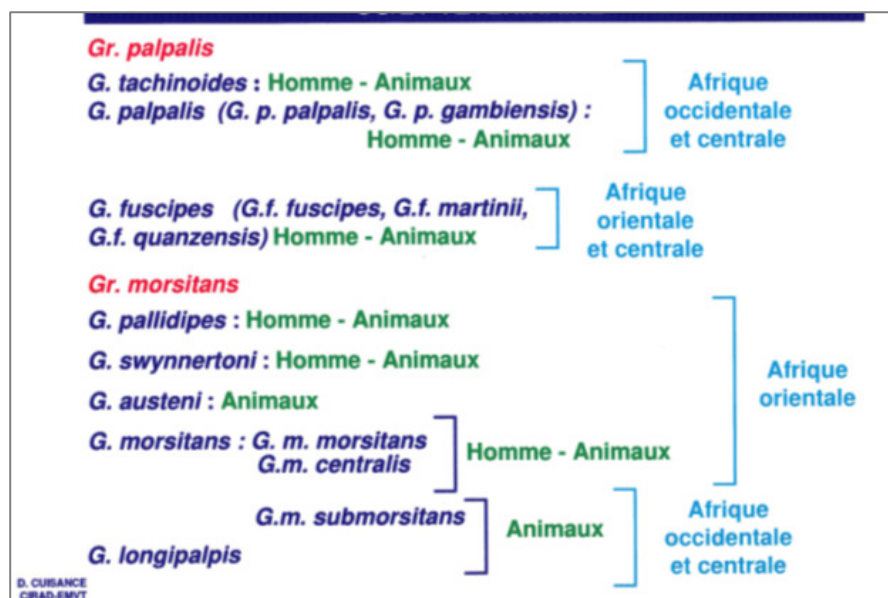
Figure 7 : Distribution des 3 groupes de glossines



En général, toutes les glossines peuvent transmettre cycliquement les trypanosomes. Toutefois un petit groupe de 12 à 15 espèces ou sous-espèces, du fait surtout de leur distribution et de leur éthologie, représente les vecteurs majeurs des Trypanosomoses de l'homme et des animaux domestiques (Tableau 3).

Chez l'homme, ce sont surtout les espèces de forêt dégradée, de galeries forestières, et de mangrove, qui sont les vecteurs essentiels en Afrique Occidentale et Centrale (groupe *palpalis*) et les espèces savaniques en Afrique Orientale (groupe *morsitans*). Ainsi, le groupe *palpalis* transmet *T. b. gambiense* et le groupe *morsitans* transmet *T. b. rhodesiense*, exception faite du Kenya et de l'Ouganda où il est transmis par *G. fuscipes*, une espèce riveraine (Solano *et al.*, 2010).

Tableau 3 : Principales espèces de glossines d'intérêt médical ou vétérinaire



Des vecteurs mécaniques notamment les tabanides, les stomoxes et les hippoboscides pourraient aussi sous certaines conditions, transmettre la maladie. *T. congolense* a ainsi été identifié chez des tabanides au Burkina Faso (Solano et Amsler-Delafosse, 1995). Desquesnes et Dia (2003a, 2003b) ont démontré expérimentalement la capacité de *Atylotus agrestis* (Diptères : Tabanidés) à transmettre *Trypanosoma vivax* et *Trypanosoma congolense* à des bovins.

2.1.4 La lutte contre les trypanosomoses et les vecteurs

Les moyens de lutte contre les trypanosomoses animales peuvent concerner les trois éléments qui conditionnent leur existence : les parasites, les hôtes mammifères et les vecteurs.

2.1.4.1 La lutte contre le parasite

L'intervention sur les parasites est basée sur l'emploi de médicaments chimiques à activité curative (pour les hommes et les animaux), ou à activité préventive (chez les animaux seulement) qui assurent sous certaines conditions, la protection pendant plusieurs mois. La chimiothérapie est très largement utilisée depuis les années 40. Les produits utilisés en médecine vétérinaire sont nettement plus nombreux qu'en médecine humaine.

Au niveau animal, il y a au total neuf médicaments appartenant à cinq familles chimiques différentes (Itard *et al.*, 2003) :

- la suramine sodique qui est un composé uréique ; plus fabriqué en Europe mais peut être fabriquée en chine (Naganol®) et en Asie centrale (Naganine®) ;
- la mélarsomine, arsénical trivalent (Cymélarsan®) ; découvert en 1985 et très actif contre *T. b. brucei*, *T. evansi* et *T. equiperdum*
- les sels de phénantridine :
 - o le bromure d'homidium (Ethidium®),
 - o le chlorure d'homidium (Novidium®),
 - o le chlorydrate de chlorure d'isoméamidium (Trypamidium®, Samorin®, Véridium®, etc.) ;

- l'acéturate de diminazène (Bérénil®, Véríben®, etc.)
- les sels de quinapyramine, dont l'usage n'est plus recommandé.

Chez les bovins, les traitements curatifs utilisables contre les diverses trypanosomoses peuvent être résumés comme suit :

- Pour les infections à *T. vivax* ou à *T. congolense* : le diminazène à 3,5mg/kg est le médicament de choix. L'isométymidium à faible dose (0,5mg/kg), et l'homidium (1 mg/kg) sont également très actifs.
- Pour celles à *T. brucei* et à *T. evansi*, elles sont traitées par la mélarsomine (0,25 à 0,50mg/kg), ou par le diminazène à 7 mg/kg ou par l'isométymidium (0,5 à 1 mg/kg).

Ce sont les mêmes traitements pour les trypanosomoses des petits ruminants.

Ces produits doivent cependant être utilisés à de bonnes doses et fréquences afin de réduire les risques de résistance qui sont assez courants de nos jours (Geerts et Holmes, 1998).

Pour la maladie du sommeil, il faut noter que les traitements prescrits ne sont pas les mêmes pour les 2 formes d'infection, notamment en première phase.

Le traitement est extrêmement onéreux, pouvant dépasser 2 000 US\$ pour un homme de 60 kg pour certaines molécules (Laveissière et Penchenier, 2005). Grâce à l'intervention de l'OMS, un accord a été trouvé récemment avec certaines entreprises de l'industrie pharmaceutique. Ainsi, sous certaines conditions, les produits suivants peuvent être obtenus gratuitement :

- La pentamidine (Lomidine®, Pentacarinat®), destinée aux malades en 1^{ère} phase ou en 2^{ème} phase précoce de la THA à *T. b. gambiense*. La suramine pour la première phase à *T. b. rhodesiense*.
- Le mélarsoprol (Mel B, Arsobal®), privilégié pour le traitement des malades en deuxième phase, mais très toxique (10% d'encéphalopathie).
- Le difluoro-méthyl-ornithine (DFMO, Ornidyl®), médicament de choix dans le traitement des patients de seconde phase et qui tend de plus en plus à remplacer le précédent.

Récemment, une nouvelle combinaison associant le nifurtimox et le DFMO (NECT) a été mise au point pour la seconde phase de la maladie à *T. b. gambiense* et est distribuée gratuitement aux pays qui en font la demande. Elle permet un schéma de traitement plus court et une moindre toxicité en comparaison au mélarsoprol (Burri, 2010). Il ne s'agit cependant pas d'un nouveau produit, mais d'une nouvelle combinaison. Beaucoup de travail reste à faire pour obtenir un traitement satisfaisant pour la maladie du sommeil.

2.1.4.2 La lutte au niveau de l'hôte

Elle peut se faire au niveau domestique par l'élevage d'animaux trypanotolérants.

La trypanotolérance est l'aptitude présentée par certaines races notamment les taurines africaines, à vivre et à rester productives dans des zones infestées par les glossines. Le bétail trypanotolérant n'est présent que dans une petite partie des 7 millions de km² des zones subhumides infestées par les glossines mais potentiellement disponibles pour l'élevage. Il ne représente que 5% des effectifs des bovins des zones sub-sahariennes et sa répartition est très inégale selon les pays. La race N'Dama dont le berceau est le massif du Fouta-Djalou en Guinée, est aussi présente dans différents pays de l'Afrique occidentale, et représente près de 50% du bétail trypanotolérant.

Un second groupe de bovins trypanotolérants est constitué par les taurins à courtes cornes, subdivisé en « bétail de savane » dont la plus importante est la race baoulé ; et en « bétail lagunaire ». La race baoulé constitue la seconde race taurine trypanotolérante après la race N'Dama. Elle est proche du bétail Shorthorn du Ghana, du bétail Somba au Togo et au Bénin.

Le bétail nain à courtes cornes des pays du golfe de Guinée (« race lagune » ou Muturu de forêt) ne représente, quant à lui que 1% du bétail trypanotolérant et il est en voie d'extinction.

2.1.4.3 La lutte contre les vecteurs

Elle vise à interrompre le cycle de transmission des trypanosomes. Plusieurs méthodes de luttés existent et leur choix est déterminé en fonction de leur impact sur l'environnement, des espèces de glossines en cause, de l'isolement des zones à assainir, des possibilités réelles d'utilisation du terrain et du financement disponible. Une pléiade de techniques a été utilisée et on pourrait résumer l'ensemble de ces mesures comme indiqué dans le Tableau 4.

Tableau 4: Aperçu de l'évolution des techniques de lutte contre les tsé-tsé (Nagel, 1995)

| Période | 1900-----1950-----1970-----1990-----> |
|------------|--|
| Techniques | Pièges/Ecrans-----Attractifs/écrans imprégnés -----> |
| | Destruction faune-----> |
| | Déboisement-----> |
| | Application insecticides-----> |
| | Technique de l'insecte stérile-----> |

Ainsi, on distingue les méthodes de lutte indirectes et directes.

2.1.4.3.1 La lutte indirecte

Elle vise par la modification du milieu où vivent les glossines (végétation, hôtes nourriciers), à le rendre impropre à leur survie. Cette méthode de lutte est encore aussi appelée (curieusement !) méthode écologique.

L'éclaircissement forestier ou « prophylaxie agronomique »

Il a pour but, en élaguant la végétation sous laquelle s'abritent les glossines et où elles déposent leurs larves, de modifier radicalement les conditions thermiques et hygrométriques qui leur sont nécessaires, ce qui les amène à quitter ces biotopes. Cette méthode est de plus en plus évitée de nos jours, à cause de ses conséquences néfastes sur l'environnement. Par contre, le remplacement dans ces zones à risques, de la végétation naturelle par les cultures vivrières peut permettre de favoriser la pousse du tapis graminéen pour les pâturages. D'autre part, la sécheresse, la pression démographique, la recherche du bois de chauffe et les feux de brousse entraînent le recul de nombreuses espèces de glossines surtout du groupe morsitans (Courtin *et al.*, 2010 ; Rayaissé *et al.*, 2009), alors que *G. palpalis* est capable de se maintenir dans des zones densément peuplées telles que les grandes villes (Abidjan, Dakar, Bamako etc).

Action sur la faune

L'idée était de pratiquer de façon systématique et planifiée, la chasse et l'abattage du gibier dans le but de supprimer des réservoirs de trypanosomes et d'affamer les glossines comme ce fut le cas en ex-Rhodésie (actuel Zimbabwe) où plus de 600 000 animaux sauvages de 36 espèces ont été abattues de 1933 à 1958. Cette technique a été aussi appliquée en Ouganda, au Botswana et en Afrique du Sud (FAO, 1987 ; Jordan, 1986). Indépendamment de ses effets écologiques néfastes, cette technique est critiquée quant à son efficacité. En effet, les zones concernées sont rapidement réenvahies par la faune et en l'absence de leurs hôtes préférés, les glossines se nourrissent sur les hôtes disponibles (petits mammifères, reptiles, oiseaux, animaux domestiques), augmentant ainsi les risques de transmission.

Toutefois, la diminution du nombre des grands mammifères sauvages du fait du braconnage pratiqué en permanence en Afrique occidentale et centrale est probablement à l'origine de la raréfaction de *Glossina morsitans submorsitans*.

2.1.4.3.2 La lutte directe

Elle vise à détruire directement l'insecte à l'aide de moyens chimiques, mécaniques et biologiques.

La lutte chimique à l'aide d'insecticides

La lutte chimique contre les glossines a pris une importance dès les années 50 avec l'avènement des insecticides de synthèse tels que le dichloro-diphényl-trichloréthane (DDT) et la dieldrine qui sont des organochlorés. A cause de leurs effets dangereux pour l'écologie, ces produits sont remplacés de nos jours par des pyréthrinoides de synthèse (cyperméthrine, deltaméthrine) qui ont une grande activité à dose très faible et sont plus acceptables sur le plan écotoxicologique du fait de leur faible rémanence. Les insecticides peuvent s'appliquer par :

- pulvérisation à partir du sol

Elle est particulièrement indiquée pour lutter contre les glossines des galeries forestières, à distribution linéaire. Elle consiste à n'effectuer qu'un seul traitement avec des insecticides à longue rémanence, supérieure à la durée de pupaison. Les insecticides sont pulvérisés en solution aqueuse sur la végétation servant de lieu de repos aux glossines (parties basses et ombragées des troncs d'arbre, face inférieure des branches et des rameaux feuillus, jusqu'à 2 à 2,5m de hauteur en saison chaude et 3 à 4 m en saison froide).

- épandage par avion ou par hélicoptère

Epanchages successifs de très petites gouttelettes d'insecticide relativement concentré, dispersé sur de vastes zones de savanes au moyen d'avions munis d'atomiseurs rotatifs pulvérisant les insecticides à très faibles doses. C'est ce contact direct de ces gouttelettes sur les glossines qui provoque leur mort. Il n'y a aucun effet rémanent et les traitements doivent être répétés pour que les mouches qui éclosent des pupes déjà déposées dans le sol soient atteintes. Il faut en général 5 à 6 vols à des intervalles de 10 à 18 jours. Le Botswana et la Namibie viennent tout juste de déclarer leur pays libérés des tsé-tsé en utilisant cette technique (Kgori *et al.*, 2006). Le Ghana et le Burkina Faso viennent également d'appliquer cette technologie dans le cadre du PATTEC.

- imprégnation des écrans et/ou pièges

Le piégeage des glossines en tant que moyen de lutte a connu depuis la fin des années 70, un regain de faveur en raison de sa simplicité d'utilisation, de son faible coût, de son efficacité qui permet, à bref délai un abaissement drastique de la densité des populations locales de glossines. L'avènement des pyréthrinoides de synthèse a rendu le piégeage plus efficace en raison de l'effet « knock down » de ces produits pour les insectes qui se posent sur le leurre imprégné. Il existe également des régulateurs de croissance qui ont des effets inhibiteurs sur la métamorphose larvaire (exemple du pyriproxifène, hormone juvénile). Certains produits perturbent les mécanismes physiologiques fondamentaux tels que la synthèse de la chitine et des vitamines. Ainsi, le diflubenzuron ou le triflumeron, en application topique au laboratoire entraîne la production de descendants anormaux pendant toute la vie de la femelle, tout en étant biodégradable et non toxique pour la faune autre que celle des arthropodes. Ces molécules peuvent être utilisées sur des écrans de lutte (Bancé *et al.*, 2006 et 2002). La lutte peut aussi viser l'altération ou la modification du potentiel

reproducteur de l'insecte (lutte génétique) dont l'application la plus courante est le lâcher de mâles stériles.

- traitement épicutané du bétail

Cette méthode s'apparente au piégeage. Attractifs par leur odeur, leur taille et leurs mouvements, les animaux domestiques sur lesquels ont été appliqués des pyréthriinoïdes en traitements épicutanés (bain, douches, formulation « pour on ») constituent des pièges mortels pour les insectes hématophages et les tiques. Cette forme de lutte contre les glossines a montré son efficacité dans certaines situations d'élevage, en faisant chuter très fortement les densités de glossines, notamment si le bétail est abondant (Bauer *et al.*, 1995).

La lutte biologique

Elle se fait par exposition des glossines à des prédateurs de pupes (fourmis, oiseaux, mangoustes), des mouches adultes (araignées, guêpes), ou des parasites qui pondent leurs œufs dans les pupes de glossines. Des micro-organismes (virus, bactéries et champignons) peuvent aussi avoir une action néfaste pour les glossines. Mais ces méthodes n'ont pas encore été réellement utilisées sur le terrain et semblent encore difficilement utilisables comme moyen de lutte à grande échelle. Les seules campagnes de lutte biologique utilisant un parasite ont été faites dès 1925 au Nyasaland, au Nigéria et en Tanzanie, par lâcher sous forme de pupes parasitées d'un Hyménoptère (*Nesolynx sp*) mais sans grand succès (Cuisance *et al.*, 1994).

La lutte génétique

C'est une technique qui vise l'altération ou la modification du potentiel reproducteur de l'insecte pour aboutir à un échec de la reproduction. On y parvient par :

- la sélection d'individus viables et fertiles porteurs d'anomalies héréditaires (manipulations génétiques) qui, en s'accouplant avec les individus normaux, introduiront dans la population sauvage des facteurs génétiques entraînant son déclin.
- l'accouplement d'insectes appartenant à des espèces voisines qui ne donneront pas de descendants ou seulement des descendants stériles (hybridation).
- la technique du mâle stérile, qui est l'introduction dans la population naturelle de glossines, de mâles préalablement stérilisés par l'action d'agents physiques (radio-stérilisation) ou chimiques (chimio-stérilisation) qui entreront en compétition pour l'accouplement, avec les mâles sauvages normaux. C'est la seule méthode génétique actuellement disponible, ayant une application pratique sur le terrain à grande échelle. Ainsi, de 1980 à 1985, cette technique a été utilisée contre trois espèces de glossines simultanément (*G. tachinoïdes*, *G.p. gambiensis* et *G. morsitans submorsitans*) dans la zone agropastorale de Sidéradougou (Poltzar et Cuisance, 1984 ; Cuisance *et al.*, 1984). Plus récemment aussi, *Glossina austeni* a été éliminée de l'île de Zanzibar en Tanzanie en associant plusieurs techniques (traitement épicutané du bétail, piégeage) à la méthode du mâle stérile (Vreysen *et al.*, 2000). Actuellement, le Sénégal s'est lancé dans un projet d'élimination de *G. palpalis gambiensis* de la région des Niayes avec cette technologie et l'appui de l'AIEA (Bouyer *et al.*, 2010).

En somme, le choix d'un programme de lutte contre les glossines est difficile car il dépend de plusieurs facteurs (des espèces de glossines rencontrées, de leur répartition, de l'existence de limites naturelles, du type de végétation présent, de la densité d'hôtes, etc.).

Il dépend aussi de l'objectif visé, c'est-à-dire selon que l'on vise éradication (supprimer totalement et si possible définitivement les glossines dans une région donnée) ou le contrôle

(baisser le niveau de population de vecteurs jusqu'à un seuil qui annule le risque de transmission). L'éradication est surtout réservée au domaine vétérinaire, en raison de l'impossibilité de contrôler le réservoir de parasites (animaux sauvages) et de la possibilité d'effectuer efficacement le traitement et/ou la prophylaxie de la maladie. Elle est théoriquement plus économique que les opérations de contrôle de vecteurs car il n'y a pas de répétition des mesures de lutte et elle est moins polluante à long terme. A court terme par contre sa mise en œuvre est plus onéreuse (cas du besoin de création d'élevage de masse d'insectes, et d'une source de radioactivité) que les autres techniques et son efficacité n'est pas immédiate et nécessite un isolement parfait des zones à traiter (Cuisance *et al.*, 1994).

Le contrôle quant à lui s'est plus appliqué à la maladie humaine dans les foyers de THA, ou à la maladie animale sur une surface restreinte (fermes d'embouche, ranchs, etc.), avec souvent l'implication active des communautés locales.

Quel que soit l'objectif visé cependant, la connaissance fine des situations épidémiologiques, agro-écologiques et socio-économiques est un préalable indispensable à l'engagement d'une campagne de lutte. La tendance actuelle est de focaliser la lutte contre la maladie sur des zones qui justifient l'investissement en moyens de lutte. La décision d'intervention prendra donc en compte les éléments suivants, évalués par enquêtes terrestres ou par images satellitaires :

- les potentialités de développement : fortes potentialités agricoles, haut potentiel d'intégration agriculture – élevage, fortes chances de participation communautaire, etc.
- l'importance de la contrainte liée aux trypanosomoses
- la capacité socio – économique (prise en charge de la lutte par les acteurs ruraux, possibilités de transfert, durabilité, l'impact de la lutte).

Dans tous les cas, une seule méthode de lutte n'a jamais, à elle seule, pu apporter de solution au problème de glossines. C'est ce qui justifie l'orientation de nos jours vers la lutte intégrée mettant en œuvre un ensemble de méthodes et techniques de lutte satisfaisant aux exigences à la fois économiques, écologiques et toxicologiques.

2. 2 Les systèmes de captures des glossines

Les systèmes de captures des glossines sont essentiellement constitués par les pièges et les écrans. Leur rôle est d'attirer la glossine en vol et entraîner sa pose sur un support imprégné d'insecticide ou d'un produit stérilisant, ou bien permettre sa capture par pénétration dans un système non-retour.

2.2.1 Composition d'un piège

Les pièges ont en commun un corps ou enceinte de format variable (prisme, cylindre, cône, cube), une surface attractive qui est l'enceinte elle-même associée ou non à des écrans, un dispositif anti-retour et une cage de capture selon les besoins. Ils sont imprégnés ou non d'insecticides.

2.2.2 Historique du piégeage

L'utilisation des pièges et écrans a débuté au début du siècle dernier en Afrique australe. Les premiers ont été utilisés en 1910 et consistaient à un tissu noir enduit de colle que les producteurs portaient sur le dos dans les plantations et avaient permis de lutter contre *Glossina palpalis* dans l'île de Principe (Da Costa *et al.*, 1916). Après cette démonstration, une large gamme de pièges ont été conçus et le premier fut le piège Harris, résultant des observations des réponses des tsé-tsé aux stimuli visuels (Harris, 1930 ; Photo 1). Après 1931, plus de 11000 pièges Harris ont été déployés contre *Glossina pallidipes* à l'intérieur et aux alentours de la réserve de faune du Zululand en Afrique du Sud.

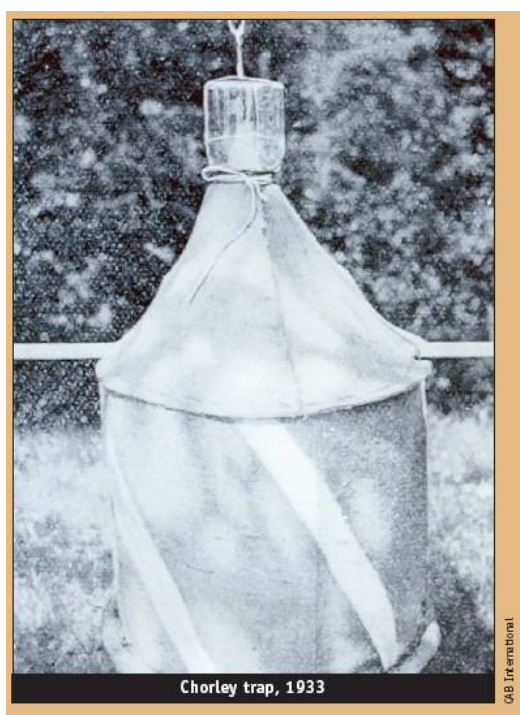
Faisant suite à l'expérience avec le piège Harris, Swynnerton (1933, 1936) développa une variété de pièges similaires qui n'ont pas eu autant de succès que le piège Harris au Zululand.

Chorley, 1933 proposa des pièges de forme « crinoline » (Photo 2) et « ventilators ». Toujours en corollaire de l'idée de Harris, Morris et Morris (1949) proposèrent le piège « animal », conçu pour imiter la forme d'un animal. Il fut utilisé contre *Glossina palpalis* et *Glossina tachinoides* en Afrique de l'Ouest mais les résultats furent une fois de plus jugés insuffisants. Ces différents résultats mitigés conduisirent WH Potts (in Mulligan, 1970) à écrire « qu'il apparaissait cependant, généralement parlant, que l'usage des pièges est une méthode inefficace pour lutter contre les glossines et que l'opinion est divisée sur leur valeur comme moyens d'investigation ». L'intérêt donc pour les pièges s'estompa.

Photo 1: Piège Harris



Photo 2 : Piège « crinoline » de Chorley



2.2.3. Les pièges développés récemment

Le piégeage de nos jours est en plein développement et les différents travaux de Green (1986, 1990, 1993) et ceux de Laveissière (1987, 1990) ont permis des avancées profondes sur le fonctionnement des pièges et des écrans. Green et Flint (1986) ont montré que la couleur intervient dans la réponse visuelle vis-à-vis des leurres. Ainsi, on peut retenir que le bleu (surtout le bleu phtalogène) est la couleur attractive par excellence. Cette réponse aux couleurs semble déterminée par la réflexivité spectrale sur 3 longueurs d'ondes que sont l'ultraviolet, le bleu et le vert – jaune. Pendant que le bleu accroît l'attractivité, l'ultraviolet et le vert – jaune la réduisent (Green et Flint, 1986 ; Green, 1988). De même, il a été découvert que le noir est la meilleure couleur pour la pose de la glossine sur le leurre (Green, 1986). L'utilisation donc du bleu en combinaison avec d'autres couleurs comme le noir, accroît de manière significative les performances du leurre, et cela à grâce au synergisme de leur effet (Green, 1990 ; Mérot et Filledier, 1989). Au niveau de la glossine, cette capacité de perception et de distinction serait due à une disposition spécifique des couches de récepteurs (« matched filters ») à la périphérie du système nerveux (Wehner, 1987).

Par ailleurs, il y a une forte corrélation entre la taille des pièges ou de l'écran et leur efficacité contre les espèces de glossines du groupe morsitans d'Afrique de l'Est et Centrale (Kappmeier et Nevill, 1999 ; Vale, 1993). Cela n'est pas aussi tranché pour les glossines du groupe palpalis d'Afrique de l'Ouest et Centrale pour lesquelles les captures ne sont que marginalement liées à la taille (Gouteux *et al.*, 1981 ; Laveissière *et al.*, 1987), pour *G. p. palpalis* en Côte d'Ivoire. Aussi bien des écrans que des pièges ont été utilisés avec succès au cours de nombreuses campagnes de lutte (Challier, 1984 ; Gouteux *et al.*, 1982).

2.2.3.1 Les pièges actuellement utilisés en Afrique de l'Ouest et du Centre

Les pièges les plus connus sont les pièges biconiques Challier – Laveissière (Challier *et al.*, 1973 ; Photo 3) et monoconique Vavoua (Laveissière et Grébaud, 1990 ; Photo 4) qui sont couramment utilisés en premier lieu contre les glossines du groupe palpalis en Afrique de l'Ouest. De nombreux autres pièges existent tel que le piège monoconique Lancien (Lancien, 1981 ; Photo 5) et le piège Pyramidal (Gouteux et Lancien, 1986) utilisés en Afrique Centrale.

Photo 3 : Piège biconique Challier - Laveissière**Photo 4 : Piège monoconique Vavoua**

Photo 5 : Piège monoconique Lancien

2.2.3.2 Les pièges utilisés en Afrique de l'Est et du Sud

Les pièges conçus pour les glossines de ces parties d'Afrique sont généralement de plus grande taille et de formes plus complexes, comparés à ceux utilisés en Afrique de l'Ouest et du Centre. Ils sont beaucoup plus utilisés contre les glossines savañicoles. On peut citer en exemple les pièges NG-2B et NG-2G (Brightwell *et al.*, 1991 ; Photo 6), le piège Epsilon (Hargrove et Langley, 1990 ; Photo 7), le Piège F3 (Flint, 1985 ; Photo 8), et plus récemment le piège Nzi (Mihok, 1996 ; Photo 9).

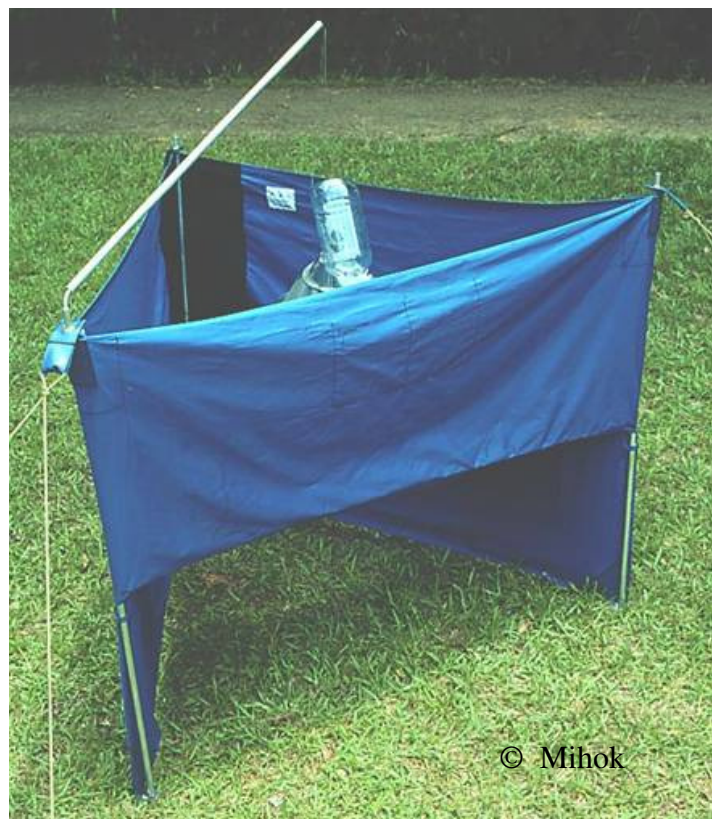
Photo 6 : Piège Nguruman**Photo 7 : Piège Epsilon**

Photo 8 : Piège F3

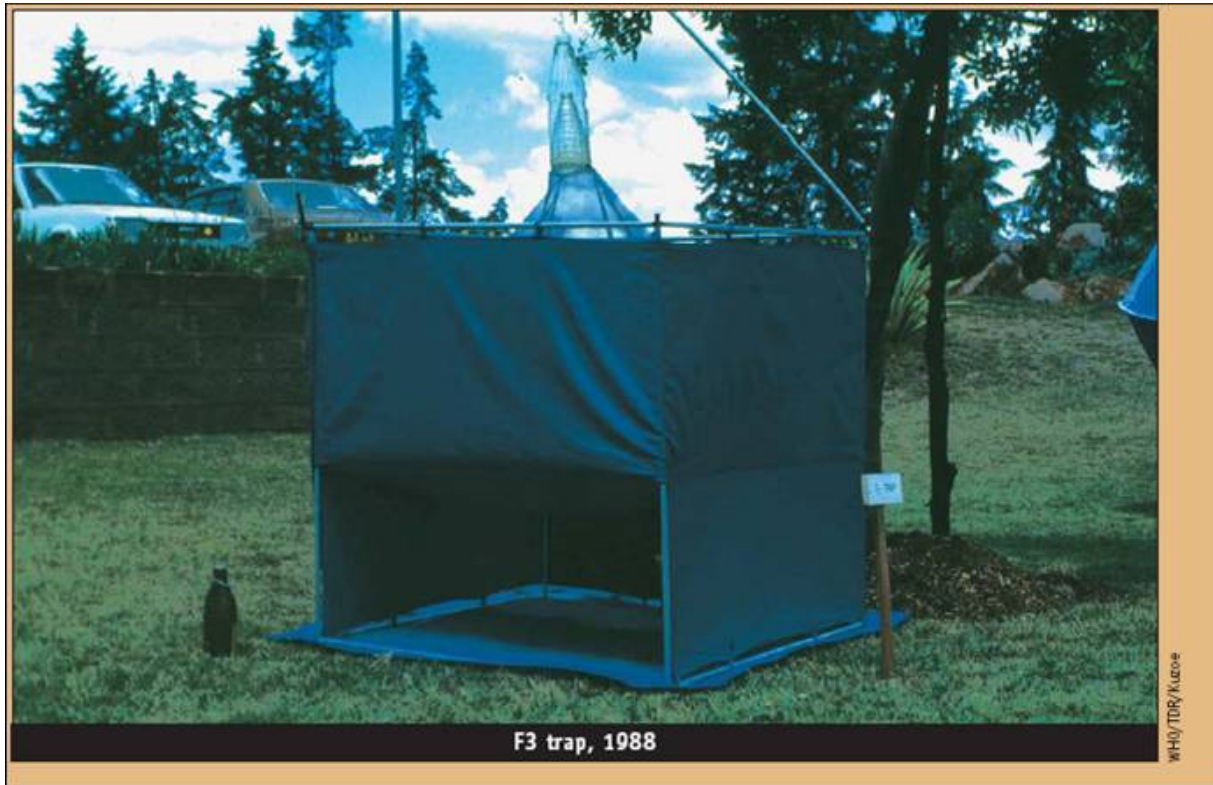


Photo 9 : Piège N'zi



2.2.3.3 Les écrans

Le rôle des écrans est de tuer directement les glossines ou de modifier leur physiologie, selon la nature du produit utilisé pour leur imprégnation. On pourrait citer entre autres l'écran bleu (Laveissière et Couret, 1981 a et b ; Photo 10), et surtout l'écran noir – bleu – noir (Laveissière *et al.*, 1987 ; Photo 11), écran de référence en Afrique de l'Ouest. En Afrique Australe, il ya celui de Vale au Zimbabwe (Photo 12) et le « Sticky Coss Panel », (Photo 13) en Afrique de l'Est.

Ces écrans peuvent aussi être utilisés pour la recherche : non imprégnés et insérés à l'intérieur de grilles électriques, ils permettent l'évaluation de divers paramètres d'efficacité du leurre, notamment le pourcentage de glossines attirées qui sont capturées par les pièges.

Photo 10 : Ecran de Laveissière et Couret, 1981 a et b

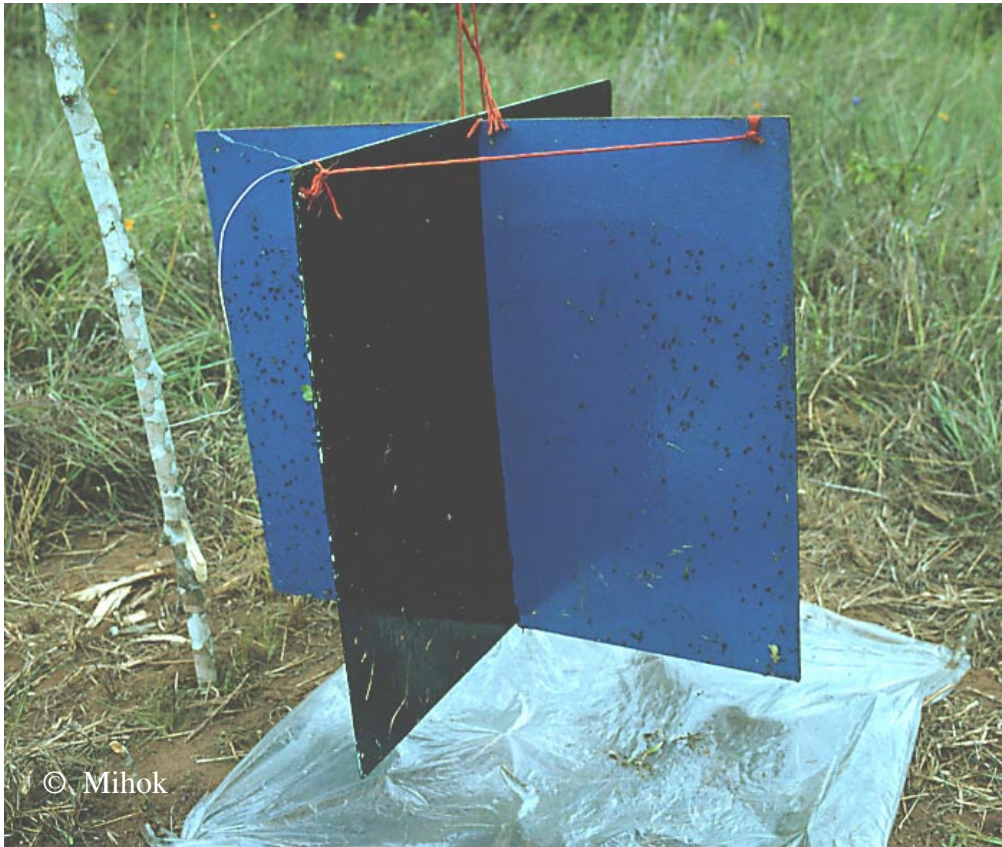


Photo 11 : Ecran de Laveissère *et al.*, 1987



Photo 12 : Ecran de Vale



Photo 13 : Sticky Cross Panel

2.2.4 Facteurs influençant le rendement des pièges et écrans

Le rendement des pièges et des écrans résulte de facteurs assez complexes d'ordre essentiellement olfactifs et visuels, fortement dépendants de l'espèce de glossine, de son état physiologique et de son environnement.

On peut regrouper ces facteurs d'une part en de facteurs intrinsèques propres à la glossine (espèce, activité, sexe, état nutritionnel, état physiologique, l'âge, etc.) conditionnant sa disponibilité, sa vision et son olfaction ; et d'autre part à des facteurs extrinsèques propres aux leurres (tailles, formes, couleurs, contraste, emplacement, qualités des tissus, produits olfactifs, etc., (Cuisance, 1989 ; Vale, 1993 ; Tableau 5).

Tableau 5 : Aperçu de quelques systèmes de captures utilisés (Nagel, 1995)

| Pièges ou écrans | Habitat | Espèces visées | Echantillonnage, Suivi | Lutte |
|--|---|---|---------------------------|-------|
| Piège F3, Epsilon (Flint, Vale) | Savane | <i>G. pallidipes</i> , <i>G.m. morsitans</i> | + | - |
| Surfaces collantes bleu – noir (Hall) | Forêt surtout | <i>G. austeni</i> | + | - |
| Pièges NG2B, NG2F (Brightwell <i>et al.</i>) | Savane | <i>G.pallidipes</i> | + | + |
| Piège biconique (Challier/Laveissière) | Végétation rivéraine en savane | Groupe palpalis, <i>G. brevipalpis</i> . <i>G. fuscipes</i> | + | + |
| Piège monoconique Lancien | Zone de forêt | <i>G.palpalis palpalis</i> , <i>G. fuscipes</i> | - | + |
| Piège Pyramidal (Gouteux et Lancien) | Zone de forêt | <i>G. palpalis</i> , <i>G. fuscipes</i> | + | + |
| Pièges monoconiques (Mérot, Laveissière, Okoth) | Forêt, végétation riveraine en savane | <i>G. palpalis</i> , <i>G. fuscipes</i> | + | + |
| Ecran Noir (Vale) | Savane | <i>G. pallidipes</i> , <i>G. morsitans</i> | - | + |
| Ecran bleu ou bleu-noir (Mérot et Filledier) | Savane, végétation riveraine en savane | <i>G. m. submorsitans</i> , groupe palpalis | - | + |
| Ecran bleu ou noir - bleu - noir (Challier, Gouteux, Laveissière) | Végétation riveraine en savane | <i>G. palpalis</i> , <i>G. tachinoides</i> | - | + |

2.2.5 Avantages et insuffisances des pièges et écrans

2.2.5.1 Les avantages

- Méthode simple pouvant être utilisée par un personnel peu spécialisé mais avec les conseils et sous la surveillance d'un spécialiste
- Matériel relativement peu coûteux, réalisable localement, transportable et en partie réutilisable en partie d'une année à l'autre
- Technique rapidement efficace et propre, ayant peu ou pas d'impact sur l'environnement
- Possibilité intéressante d'intégration avec d'autres méthodes (utilisations d'attractifs ou d'insecticides, pour on sur les animaux)
- Technique bivalente permettant à la fois de lutter contre les glossines présentes et d'empêcher ou de limiter la ré-invasion (barrière)
- Méthode pouvant être mise en œuvre toute l'année pour certaines espèces et autorisant un meilleur étalement des programmes de travail.

2.2.5.2 Les insuffisances

- Comme toute technique de lutte, le piégeage présente des insuffisances au nombre desquelles on pourrait citer :
 - les difficultés d'approvisionnement en matériel approprié
 - le besoin constant de renouveler certains matériaux dû aux vols, aux détériorations
 - la nécessité de création de nombreuses voies d'accès, causant ainsi des problèmes financiers, logistiques
 - les densités encore trop importantes de leurres à installer pour une lutte efficace, notamment en Afrique de l'Ouest par manque d'attractifs olfactifs : de 30 à 250 leurres/km² (Politzar et Cuisance, 1984 ; Laveissière et Penchenier, 2005).
 - les leurres sont sélectifs par rapport aux espèces de glossines, soulignant ainsi la nécessité d'adapter à chaque situation les méthodes de lutte les plus efficaces contre les vecteurs en cause
 - Le piégeage se révèle totalement inefficace dans certains biotopes à certaines périodes de l'année (crues, feux de brousse, croissance des végétaux).
 - Les pièges et les écrans imprégnés peuvent entraîner une baisse importante et rapide de la densité de population (bonne technique pour la suppression) mais il est difficile d'atteindre l'élimination. C'est donc une technique efficace lorsque les densités de vecteurs sont fortes.

2.3 Les attractifs olfactifs

L'idée part du principe que les insectes de façon générale et les glossines en particulier localisent et reconnaissent leurs hôtes en utilisant des signaux visuels et olfactifs. Au départ, pour ce qui est des glossines de savanes pour lesquelles le processus semble bien maîtrisé, (Gibson et Torr, 1999 ; Torr et Solano, 2010), on peut considérer que la mouche est d'abord activée par l'odeur qui entraîne une orientation et un envol jusqu'au voisinage de l'hôte où des signaux visuels tel la forme, la taille, le contraste des couleurs, le mouvement, ou des odeurs de faibles rayonnement la guideront sur sa cible (Green, 1994).

Le processus semble par contre plus complexe pour les glossines du groupe palpalis qui généralement montrent une réponse faible aux odeurs des hôtes et semblent plus sensibles aux aspects visuels (Torr et Solano, 2010). Cela pourrait refléter leur comportement opportuniste en matière de choix d'hôte pour les repas de sang (Clausen *et al.*, 1998).

Dans tous les cas, l'approche finale à l'hôte semble d'abord contrôlée par les signaux visuels. Vale, (1974a) a montré que les glossines étaient incapables de localiser la source exacte d'une odeur si celle – ci n'était pas marquée par une cible visuelle et Torr (1989) trouvait qu'une

glossine qui volait en direction d'une source d'odeurs pouvait être divertie par plusieurs types de leurres, la probabilité de la diversion étant fonction de la couleur et de la forme du leurre.

Des attractifs de plusieurs types et contre divers insectes existent tels les phéromones, les odeurs brutes provenant des hôtes, les odeurs émanant des plantes, les attractifs de synthèse et aussi des répulsifs. Leur utilisation est très variée et couvre des domaines comme l'agriculture mais aussi la santé humaine et vétérinaire.

2.3.1 Utilisation des attractifs dans le domaine agricole

Elle est fréquente de nos jours, surtout dans la production des fruits et légumes à cause de la crainte de plus en plus exprimée des consommateurs par rapport à l'utilisation d'insecticides contre les mouches de fruits.

Les sources d'ammonium sont utilisées comme attractifs de plusieurs mouches de fruits (Diptera : Tephritidae) car celles-ci seraient guidées par la présence de ce composé pour localiser leur alimentation et/ou leur ressource pour l'oviposition (Hull et Cribb, 2001). Le piège McPhail utilisé en adjonction avec la levure de torule ou d'autres appâts protéiques était l'outil standard de détection de ces insectes (Thomas *et al.*, 2001). Dans des vergers de manguiers au Mexique, le piège McPhail avec la levure de torule ou l'urine de l'homme attirait significativement plus *Anastrepha* spp en comparaison à l'eau (Pinero *et al.*, 2003). Une étude similaire conduite par Hall *et al.* (1998) dans les champs de citron en Floride a aussi abouti aux mêmes conclusions avec la mouche caribéenne de fruits *Anastrepha suspensa*.

Des insectes telle que la mouche méditerranéenne de fruits, *Ceratitis capitata*, l'un des insectes ravageurs d'importance économique mondiale (Prokopy *et al.*, 1992) et *Anastrepha suspensa* (Epsky *et al.*, 1997) sont attirés par les fientes des oiseaux, et l'attractivité de *Anastrepha suspensa* serait corrélée aux émissions d'ammonium par les fèces des oiseaux.

De même, Robacker *et al.* (2000) ont montré que les fientes du canard avaient une attractivité pour *Anastrepha ludens* supérieure à l'eau ($p < 0,001$). L'extraction des sucres de ces fèces diminuait l'attractivité mais pas celle des protéines qui n'avait aucun effet sur la réponse des insectes.

Egalement, les fientes fraîches des poules se sont montrées plus attractives que l'eau ($p < 0,001$) contre *Anastrepha obliqua* dans un verger de mangues (*Mangifera indica*) au Mexique. Cela pourrait être une solution à bas coût pour les producteurs à revenus faibles, étant donné la grande disponibilité des fientes.

La céralure B1 (éthyl-cis-5-iodo-trans-2-méthylcyclohexane-1-carboxylate) est celle que soit sa pureté, 3 à 7 fois plus attractive que la trimedlure (tert-butyl ester de 4 (5)-chloro-2-méthylcyclohexane -1-carboxylate), produit d'attraction de référence pour *Ceratitis capitata* dans les champs de café au Kenya et aux îles Hawaï ; de citron en Espagne et en Floride (Jang *et al.*, 2005). Cette étude suggère que la céralure B1 pourrait être utilisée en remplacement de la trimedlure pour la détection et la lutte en grandeur nature de cet insecte.

2.3.2 Les attractifs dans le domaine médical

La grande partie des travaux réalisés dans ce domaine l'ont été sur les moustiques et le CO₂ a toujours été considéré comme un attractif pour l'échantillonnage des moustiques en Tanzanie (Mboera *et al.*, 2000a). Toujours en Tanzanie, des études ont fait ressortir que *Culex quinquefasciatus* est beaucoup plus attiré par des chaussettes en nylon ayant déjà été portées que par des chaussettes neuves ($P < 0,05$) (Mboera *et al.*, 2000b). La sueur de l'homme, incubée pendant 42 à 52 heures entraînait une réaction comportementale et une réponse électro-antennographique (EAG) des femelles *Anopheles gambiae* pendant que la sueur fraîche n'induisait ni réaction comportementale ni réponse EAG (Meijerink *et al.*, 2000).

Il ressort cependant de l'analyse GC-MS (chromatographie en phase gazeuse – spectrographie de masse) que la sueur incubée contient de l'indole (27,9%), du 1-dodecanal (2,4%) et du butanol (10%), alors que ces composants sont absents ou seulement présents en petites quantités dans la sueur fraîche. Ces éléments pourraient alors avoir un rôle dans le comportement du moustique.

Mboera *et al.*, (2000b) ont montré que le CO₂ en adjonction au piège GFC (Counterflow Geometry) attirait plus *Culex quinquefasciatus* que le même piège avec l'odeur des pieds de l'homme, de l'acétone ou avec l'acide butyrique. La même étude a prouvé que sur le terrain, le CO₂ en combinaison avec le piège CDC (Center for Disease Control) attirait plus de 12 fois *Culex quinquefasciatus* que le piège seul et 9 fois plus qu'un piège avec de l'octénol.

Enfin, il a été récemment montré que les buveurs de bière locale étaient plus attractifs que les non buveurs pour *A. gambiae* (Lefèvre *et al.*, 2009). Les raisons de cette attraction après consommation de la bière ne sont pas très clairement établies mais ne seraient pas fortement liées au niveau du CO₂ dégagé.

2.3.3 Les attractifs olfactifs dans la lutte contre les glossines

Les études de l'apport des odeurs des hôtes ou les odeurs de synthèses sur les captures de glossines se sont toujours faites soit à l'aide de pièges, soit à l'aide de grilles électriques, ou des deux utilisés simultanément. Les premières expériences visant à étudier l'effet des odeurs naturelles ou synthétiques sur les glossines ont eu lieu au Zimbabwe et ont concerné les espèces du groupes morsitans (Vale, 1974 a et b).

L'identification des produits est un processus qui peut être résumé aux étapes suivantes :

- Choix de l'hôte (sur la base d'analyse de repas de sang ou après des expériences de « détection » du meilleur hôte (hôte entier, urines, excréments, haleine, etc.)
- Collecte de l'odeur brute avec le filtre approprié
- Isolement et identification des composants de l'odeur brute
- Sélection des attractifs potentiels par EAG et par essai en chambre de vol
- Synthèse des attractifs potentiels
- Test sur le terrain (individuellement ou en combinaison), en adjonction à des pièges ou à des grilles.
- Choix du meilleur attractif ou de la meilleure combinaison en incluant des essais sur les diffuseurs.

2.3.3.1 Odeurs brutes d'hôtes

Les attractifs des glossines émanent des produits d'excrétion d'hôtes telle que l'urine, les fèces, l'haleine, la respiration ou des sécrétions glandulaires et exsudats des hôtes.

De nombreuses expériences ont été conduites à plusieurs endroits pour mettre en évidence le pouvoir attractif des hôtes sur les vecteurs. Mérot *et al.* (1986) ont trouvé dans la réserve de la Comoé au sud du Burkina, que *Glossina tachinoides* et *Glossina morsitans submorsitans* étaient réceptives à l'odeur brute de l'homme (60 kg), du porc (60kg) et du bovin (150 kg). Ainsi, l'odeur de ces hôtes augmenterait les captures de *Glossina tachinoides* par des grilles électriques respectivement de 12, 21 et 22%. Pour *Glossina morsitans submorsitans*, ces augmentations sont de 12, 26 et 23%. Quatre bovins ensemble augmentaient les captures de 79 et 51% respectivement pour *Glossina tachinoides* et *G m submorsitans*. Ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus par Vale et Hall, (1985a) au Zimbabwe, où un bovin de 500 kg multipliait par 10 les captures de *Glossina morsitans morsitans* et *Glossina pallidipes*. L'urine de bovin ou de buffle a doublé les captures de *G. pallidipes* au Zimbabwe (Vale *et al.*, 1986), pendant qu'elle les multipliait par plus de 10 au Kenya (Owaya, 1985).

Filledier et Mérot, (1989a) ont démontré dans la forêt de la Comoé au Burkina Faso que l'urine d'un taurin Baoulé multipliait par plus de 3 fois les captures de *Glossina tachinoides* contre 2,4 fois l'urine de zébu. Pour les odeurs en revanche, et à poids égal, le zébu attire plus que le baoulé quand le piège biconique Challier – Laveissière est utilisé.

En Côte d'Ivoire, les captures de *Glossina longipalpis* sont significativement améliorées par les urines de phacochère et du porc domestique respectivement à des facteurs de 1,58, 1,91 et 2,51 (Spath, 1997 ; Clausen *et al.*, 1998), pendant qu'une expérience de comparaison d'attractivité entre l'homme et le porc a montré que le dernier améliore de 2,5 fois plus les captures de *Glossina palpalis palpalis* par le piège biconique (Dagnogo *et al.*, 1996).

Malgré l'opportunité alimentaire marqué des espèces du groupe palpalis (Kupper, 1990), de nombreuses études ont prouvé leur préférence pour les reptiles, en particulier les crocodiles et les varans (Moloo, 1993). Se basant sur de tels constats, des expériences menées au Kenya sur des varans (*Varanus niloticus niloticus*) où les tsé-tsé étaient capturées à l'aide de grilles électriques, ont montré que les grilles avec le varan attiraient 2 fois plus *Glossina fuscipes fuscipes* que la grille seule. L'hypothèse d'une attractivité visuelle pourrait cependant être émise, le modèle de varan de même taille en PVC ayant des performances identiques à celles de l'animal lui-même. Néanmoins, il ressort de la même étude que l'urine fraîche du varan additionnée à la grille aboutit à une attractivité significativement supérieure à celle de la grille seule (Mohamed-Ahmed, 1988).

Les odeurs brutes des hôtes sont des combinaisons de plusieurs molécules appartenant à quelques groupes principaux. Chez les bovins par exemple, ces molécules sont principalement :

- du gaz carbonique (CO₂)
- des cétones, tel que l'acétone, produit naturel se trouvant dans l'urine, le lait, diverses sécrétions et l'haleine, ou le butanone (urine, lait) ;
- de l'octénol (1-octen-3-ol), produit de l'oxydation des acides gras non saturés se trouvant naturellement dans l'odeur corporelle des bovins. (IAEA, 2003 ; Hall *et al.*, 1984 ; Vale *et al.*, 1985)
- des composés phénoliques (phénol, 3- et 4-méthylphénol, 3- et 4-éthylphénol, 3- et 4-n-propylphénol) se trouvant essentiellement dans l'urine des mammifères, (Hassanali *et al.*, 1986) de même que le 2-methoxyphenol, (Bursell *et al.*, 1988).

2.3.3.2 Les attractifs de synthèse

Ils peuvent être utilisés individuellement ou en combinaison.

- Expériences sur les glossines du groupe Morsitans

Au Zimbabwe, le CO₂ (qui a toujours été connu comme un attractif des insectes), utilisé à la dose de 2 à 20 litres/minute avait augmenté de 4 fois les captures de *Glossina pallidipes* et de *Glossina morsitans morsitans* par les écrans noirs électrifiés. L'acétone (5-5000 mg/h) ou le butanone (20 à 50 mg/h) l'augmentait de 2 à 3 fois (Vale et Hall, 1985b) et l'adjonction de l'octénol (1-octen-3-ol) à la dose de 0,5 à 5mg/h multipliait ces résultats par 1,5. Cependant, la combinaison de ces 3 produits pouvait augmenter les captures par plus de 60.

L'attractivité de l'urine de bovin est largement due à ses composés phénoliques et l'adjonction de l'acétone (100 mg/h), d'octénol (0,5 mg/h), du 4-méthylphénol (0,2 mg/h) et du 3 - n- propylphénol (0,04 mg/h) augmente les captures par plus de 10 (Vale *et al.*, 1988 ; Dransfield *et al.*, 1986) toujours en utilisant les écrans noirs électrifiés.

Au Burkina Faso, l'association de l'acétone (1200mg/h) et de l'octénol (0,5mg/h) multipliait les captures de *Glossina morsitans submorsitans* par le piège biconique par plus de 6 en saison pluvieuse et par plus de 2 en saison sèche (Politzar et Mérot, 1984).

- Expériences sur les glossines du groupe *Palpalis*

Mis à part le CO₂, les glossines du groupe *palpalis* paraissent peu sensibles aux attractifs actuels (Mérot *et al.*, 1986), *Glossina tachinoides* semblant faire l'exception (Amsler *et al.* 1994a). En effet, les espèces de ce groupe sont réputées opportunistes, s'alimentant sur tout hôte disponible en utilisant surtout les signaux visuels (Kupper, 1990 ; Laveissière *et al.*, 1990 ; Mooloo, 1993). Cette interprétation était surtout basée sur l'absence d'une multiplication effective des captures de ces glossines quand on utilise les attractifs qui attirent celles de savanes. A côté de ces essais infructueux, il y a tout de même eu quelques essais ayant conduit à des améliorations significatives.

Ainsi, le CO₂ utilisé sous forme de carboglace a multiplié les captures de *Glossina fuscipes fuscipes* par le piège Morris par 5 en Ouganda (Roger, 1990) pendant qu'au milieu des années 70 en République Populaire du Congo, Frezil *et al.* (1976) ont obtenu avec le piège biconique en association avec la carboglace, des captures de *G. fuscipes quanzensis* 40 fois supérieures au piège biconique témoin.

Au Burkina Faso le CO₂ (0,5 à 20 l/mn) a fait multiplier les captures de *Glossina tachinoides* au moyen de pièges biconiques par 3,2 (Galey *et al.*, 1986).

Les résultats obtenus avec le CO₂ sont pourtant difficiles à apprécier, ce composé existant déjà dans la nature à une certaine concentration. Des auteurs pensent qu'il n'agirait pas à longue distance au niveau de l'hôte, son signal étant couvert par le CO₂ atmosphérique. Ils penchent cependant à une synergie entre le CO₂ de l'hôte et des autres substances (kairomones) qu'il émet (acétone, 1-octen-3-ol et les phénols) qui expliquerait le grand effet du CO₂ (Zollner *et al.*, 2004). Il reste évident que le CO₂, au vu de son prix et des difficultés logistiques inhérentes à son emploi, ne peut pas constituer un attractif utilisable à l'heure actuelle. Le mélange des composés phénoliques présents dans l'urine du bovin, de même que l'association du méta - crésol et de l'octénol augmentait les captures de *Glossina tachinoides* par 2 au Burkina Faso (Filleidier et Mérot, 1989 a et b). Des résultats ont été obtenus sur d'autres espèces du même groupe, et on retient qu'au Libéria, l'acétone (100 mg/h) et l'octénol (0,5 mg/h) utilisé en combinaison avec le piège biconique multipliait par 2 les captures de *Glossina palpalis palpalis* (Cheke et Garms, 1988).

Au Burkina Faso, l'association 3-n-propylphénol, octénol, para-crésol contenus dans un sachet en de proportions respectives de 1 :4 :8, plus de l'acétone dans une bouteille a donné des index de captures de 2,25 et de 1,54 pour *Glossina tachinoides* comparé respectivement au piège biconique et au piège monoconique Vavoua (IAEA, 2003).

2.3.3.3 Les attractifs des plantes

Des enregistrements électroantennographiques au laboratoire ont aussi prouvé que des extraits volatiles des feuilles et des fleurs de *Lantana camara* activaient aussi bien les cellules réceptrices antennaires de *Glossina fuscipes fuscipes* (espèce riveraine), de *Glossina brevipalpis* (espèce forestière) que de *Glossina pallidipes* qui est une espèce de savane. La chromatographie en phase gazeuse a démontré que les antennes de ces trois espèces étaient aussi spécialement stimulées par l'octénol (1-octen-3-ol) et le B-caryophyllène contenus dans ces plantes (Syed et Guerin, 2004). Une investigation dans ce sens sur d'autres plantes tropicales associées à la présence des espèces visées aiderait peut-être à l'obtention de résultats plus significatifs.

Les tableaux 6 et 7 résument les différents index obtenus avec des attractifs de synthèses utilisés seuls ou en combinaison.

Tableau 6 : Index de captures de différentes espèces de glossines vis-à-vis des attractifs individuels de synthèse autre que le CO₂

| Espèce | Pays | Leurres | Odeurs | | | Références |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|--------|----|-----|---|
| | | | A | O | P | |
| Groupe morsitans | | | | | | |
| <i>G. pallidipes</i> | Zimbabwe Kenya | Piège, Ecran + grille | 2-6 | 2 | 2-4 | Vale et Hall, 1985 a et b ; Vale <i>et al.</i> , 1988 ; Torr, 1990; Baylis et Nambiro, 1993 |
| <i>G. m. morsitans</i> | Zimbabwe | Piège, Ecran + grille | 2-6 | 2 | <2 | Vale et Hall, 1985 a et b ; Vale <i>et al.</i> , 1988 ; Torr, 1990 |
| <i>G.m. submorsitans</i> | Burkina Faso | Piège | 2 | 2 | ns | Politzar et Mérot, 1984; Mérot <i>et al.</i> , 1988 |
| <i>G. longipalpis</i> | Côte d'Ivoire | Piège | 2 | 2 | <2 | Spath, 1995 |
| Groupe Fusca | | | | | | |
| <i>G. longipennis</i> | Kenya | Piège | 2 | 2 | 2 | Baylis et Nambiro, 1993 |
| <i>G. medicorum</i> | Côte d'Ivoire | Piège | Ns | 2 | Ns | Spath, 1995 |
| Groupe palpalis | | | | | | |
| <i>G. tachinoides</i> | Burkina Faso | Piège | Ns | Ns | 2 | Mérot <i>et al.</i> , 1988 |

Odeurs : A = Aétone, O = Octénol, P = Phénols

Tableau 7 : Index de captures de différentes espèces de glossines vis-à-vis de combinaisons d'attractifs de synthèse autre que le CO₂

| Espèce | Pays | Leurre | Odeurs | Index | Références |
|--------------------------------------|--------------|-----------------------|--------|---------|--|
| Groupe morsitans | | | | | |
| <i>G. pallidipes, G.m. morsitans</i> | Zimbabwe | Piège, Ecran + grille | POCA | >10 | Vale et Hall, 1985; Vale <i>et al.</i> , 1988 ; Dransfield, 1986 |
| <i>G.m. submorsitans</i> | Burkina Faso | Piège | OC | 2-6 | Politzar et Mérot, 1984; Mérot <i>et al.</i> , 1988 |
| Groupe palpalis | | | | | |
| <i>G. tachinoides</i> | Burkina Faso | Piège | OC | 2 | Filledier et Métot, 1989 a et b. |
| <i>G.tachinoides</i> | Burkina Faso | Piège | POCA | 1.5 - 2 | IAEA, 2003 |
| <i>G.p. palpalis</i> | Libéria | Piège | AO | 2 | Cheke & Garms, 1988 |

Odeurs : A = Acétone, C = Crésol, O = Octénol, P = 3-n- propylphénol

2.3.3.4 Les phéromones

Ce sont des substances sécrétées par des individus et qui reçues par d'autres individus de la même espèce, provoquent une réaction spécifique, un comportement ou une modification biologique. Un système de communication interindividuelle qui se résume en 3 points est alors établi :

- l'émission d'un signal chimique par un individu
- la réception et la reconnaissance du signal par un autre individu
- la réaction de l'individu récepteur en fonction du signal.

Le signal phéromonal peut être constitué d'une ou de plusieurs molécules (bouquet phéromonal), émises simultanément ou successivement. Les phéromones existent sous forme volatile ou soluble et parviennent au contact des cellules sensorielles soit par diffusion, soit après un contact physique. Une substance émise par un organisme peut être liée à une autre molécule, à un transporteur, ou être transformée (par exemple par une action bactérienne), avant de devenir une phéromone.

Plusieurs types de phéromones interviennent dans la communication chimique chez les insectes :

- Les phéromones sexuelles attirent le partenaire sexuel. Chez la plupart des insectes, des signaux chimiques spécifiques, souvent perçus à très longue distance ou par contact, indiquent au mâle qu'il est bien en présence d'une femelle de son espèce. Chez un certain nombre d'espèces intervient une forme de sélection sexuelle : la femelle choisit son partenaire en fonction de son statut ou d'autres critères qu'elle perçoit par olfaction.
- Les phéromones grégaires sont des phéromones qui, émises par tous les individus d'un groupe, maintiennent sa cohésion. Ces phéromones sont spécifiques mais au sein d'une population d'individus de la même espèce, chaque groupe acquiert en fonction de son habitat et de son alimentation une odeur particulière dont l'action est complémentaire de celle de la phéromone grégaire pour la reconnaissance du groupe. Chez les tiques, le o-nitophenol jouerait ce rôle de phéromone d'agrégation et McMahon *et al.* (2003) ont montré que cette substance attirerait les tiques même en présence de répulsifs comme le DEET (Diéthyl-m-Toluamide).
- Les phéromones de piste regroupent des comportements très divers selon les espèces. Elles pourront servir, par exemple, aux fourmis à retrouver leur chemin quand elles partent récolter de la nourriture ou à recruter d'autres individus pour participer au travail.
- Les phéromones d'alarme indiquent la présence d'un danger aux autres membres du groupe. Très souvent chez les insectes, ce sont des produits issus d'une sécrétion défensive qui jouent ce rôle. L'individu attaqué se défend tout en prévenant ses congénères.

Ces 3 dernières phéromones citées sont surtout utilisés par les insectes sociaux ou de groupe.

- Les phéromones épideictiques ou phéromones d'espacement : chez les insectes, les femelles qui pondent leurs œufs dans des fruits déposent cette phéromone au voisinage de leur ponte pour la signaler aux autres femelles de la même espèce.

Les molécules phéromonales peuvent être émises dans l'air ou dans l'eau, déposées sur le sol ou sur des supports solides. Leur mode d'action dépend de leur nature chimique et de leur volatilité ou de leur solubilité, propriétés qui conditionnent également leur durée de vie. Du point de vue chimique, il est impossible d'établir une véritable classification car un même produit peut avoir une fonction de phéromone d'alarme chez une espèce et de phéromone sexuelle chez l'autre (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Phéromones>) et ce phénomène dit de parcimonie est observé chez plusieurs insectes dont les glossines (Harraca *et al.*, 2009). Les phéromones sexuelles sont celles qui sont les plus utilisées dans l'étude comportementale des glossines. Carlson *et al.* (2005) ont rapporté que les réactions de copulation provoquées chez

les mâles de *Glossina austeni* au contact des femelles gelées n'étaient plus observées après lavement au solvant des lipides cuticulaires. La chromatographie en phase gazeuse montre que ces activités sont principalement produites par des composés dans la fraction alcène, dont les deux plus importants sont le 13, 17-dimethyltrtriacont-1-ene et le 13, 17-dimethylpentatriacont-1-ene. Des extraits isolés d'hydrocarbures de femelles de *Glossina tachinoides* ont entraîné une activité copulatoire de mâles de la même espèce. La bioactivité était observée dans deux isomères naturels d'une chaîne de 37 carbones du dimethylalcane (Nelson *et al.*, 1988). Chez les glossines, Nash *et al.* (1976) ont suspecté l'existence de phéromones larvaires ayant un effet attractif sur les femelles. Cependant, Gouteux et Laveissière (1983) n'avaient observé aucune concentration particulière de pupes, ni au-dessus des boîtes contenant des broyats de grandes quantités de pupes, ni à proximité de celles-ci, ni même dans l'ensemble du gîte par rapport aux autres gîtes. Cela confirme les résultats négatifs obtenus lors d'essais à l'aide du piège biconique utilisant les « phéromones larvaires » comme attractif olfactif (Gouteux *et al.*, 1981).

Chez les moustiques du genre *Culex*, le (5R, 6S)-6-acetoxy-5-hexa-decanolide, phéromone synthétique d'oviposition, additionnée à de l'eau induit une ponte quotidienne d'œufs de *Culex quinquefasciatus* et de *Culex cinereus* de 5 à 25 fois supérieure au nombre déposé dans l'eau simple de robinet ($p < 0,001$). Bien que cette phéromone n'attire pas les moustiques hors de leurs sites de prédilection, son activité résiduelle peut atteindre 9 jours sans décroître (Mboera *et al.*, 1999).

2.3.4 Les répulsifs dans la lutte contre les insectes

Le terme « répulsif » est largement utilisé pour les produits qui induisent un ensemble de comportements aboutissant à l'empêchement de la piqure par les insectes. Malgré l'intérêt grandissant de la communauté scientifique à utiliser les répulsifs en santé publique (Gubler, 2004; BEH, 2006), leur mode d'action chez les insectes n'est toujours pas très bien connu mais certains pensent que les répulsifs auraient une interaction avec les composants lipidiques de la membrane cellulaire (McIver, 1981).

Même si les caractéristiques comportementales spécifiques par lesquelles les résultats sont obtenus ne sont pas déterminés et qu'il n'y a pas d'informations sur l'implication des mécanismes sensoriels, Davis (1985) pense qu'il y aurait au moins cinq mécanismes sensoriels potentiels par lesquels les répulsifs agiraient :

- ils interagiraient avec les neurones sensoriels et inhiberaient ainsi leur réponse à un signal normalement attractif ;
- ils pourraient interagir avec leurs propres récepteurs spécifiques pour être attractifs à de faibles doses et répulsifs à forte dose ;
- ils activeraient un système récepteur qui régulerait un comportement inapproprié ;
- ils activeraient des récepteurs spécifiques de répulsion d'odeurs nauséabondes ou nocives;
- ils pourraient simultanément activer plusieurs types de récepteurs qui induisent plusieurs types de comportements, ce qui aboutit à la perte de tout signal spécifique à la localisation de l'hôte.

Les répulsifs sont couramment utilisés surtout dans la lutte contre les moustiques. Actuellement, l'utilisation d'extraits de plantes fraîches, séchées ou brûlées est encore largement pratiquée en Afrique pour se protéger des insectes hématophages (Debboun *et al.*, 2007). Mais l'utilisation des répulsifs a connu un véritable développement avec l'apparition des produits de synthèse à action prolongée, acceptables en applications cutanées, et efficaces contre de nombreux insectes, plus particulièrement depuis la découverte du Diéthyl-m-Toluamide (DEET) en 1953 (McCabe *et al.*, 1954). En Australie, il a été prouvé que des formulations contenant du Picaridin (2-methyl-propyl 2-(2-hydroxyethyl)-1-

piperidinecarboxylate) ou du DEET donnait une protection supérieure à 95% contre l'espèce *Culex annulirostris* Skuse (Frances, 2004). Alors que certains chercheurs pensent que l'acide lactique est un attractif pour les moustiques (Kline *et al.*, 1990), des études menées par Shirai *et al.* (2001) au Japon ont prouvé sa répulsion pour ces mêmes insectes à certaines concentrations. Étant donné que sur la chevelure humaine, le DEET empêcherait l'avancée du pou (*Pediculus, humanus humanus*) vers les cheveux traités avec du bicarbonate d'ammonium vers lesquels ils sont généralement attirés (Mumcuoglu *et al.*, 1996). Cependant, les auteurs ne font pas ressortir si cet effet était dû au contact ou à la perception de la vapeur du DEET par les poux. De nos jours cependant, il a été démontré que le DEET aurait des effets aussi bien sur le système nerveux central que sur le système cardio-vasculaire (Corbel *et al.*, 2009 ; Clem *et al.*, 1993).

Pour ce qui est des glossines, l'acide lactique (Vale, 1979), l'acétophénone (Vale, 1980) et le 2-méthoxyphénol (Vale *et al.*, 1988) réduiraient les captures de *Glossina pallidipes* et de *Glossina morsitans morsitans*. Torr *et al.* (1996) ont montré que l'addition de l'acide pentanoïque, de l'acide hexanoïque, ou de l'acétophénone au taux de 5-10 mg/h au piège epsilon appâté avec une combinaison attractive de 3-n-propylphénol, d'octénol, du 4-méthylphénol et de l'acétone réduisait de moitié les captures de *Glossina pallidipes* du piège, pendant que l'adjonction du 2-méthoxyphénol les réduisait de 90%. Il ressort cependant que l'acétophénone et le 2-méthoxyphénol réduiraient seulement le nombre de glossines rentrant dans le piège, mais n'ont aucun effet significatif sur l'attraction. Seul l'acide pentanoïque aurait un effet négatif sur la proportion de glossines s'alimentant sur un hôte (Torr *et al.*, 1996). Un tel constat a des implications pratiques car il pose la question de l'utilisation efficace des répulsifs pour la protection des hôtes, la majorité des répulsifs réduisant le nombre des mouches attirées et non le nombre de celles qui se posent. Ainsi, ils agiraient alors peu sur celles qui se nourrissent et ne seraient pas alors très utiles dans toutes les situations (Torr *et al.*, 1996).

2.3.5 Comportement général des glossines vis-à-vis des attractifs/répulsifs

Le comportement des glossines vis-à-vis des attractifs est complexe et fait intervenir plusieurs facteurs intrinsèques et extrinsèques à la glossine.

2.3.5.1 Facteurs intrinsèques

- Le groupe

Selon les études réalisées jusqu'ici, les espèces du groupe *morsitans* sont beaucoup plus réactives aux attractifs et aux répulsifs que celles du groupe *palpalis*. À l'intérieur du même groupe, les espèces n'ont pas le même comportement. Ainsi, pendant que *Glossina tachinoides* réagit à des attractifs de manière semblable aux glossines du groupe *morsitans*, *Glossina palpalis gambiensis* a semblé ne pas répondre aux produits habituellement utilisés (Mérot *et al.*, 1986 ; Amsler *et al.*, 1994). La différence entre réceptivité des espèces du groupe *morsitans* et celles du groupe *palpalis* pourrait aussi trouver son explication dans l'hypothèse que les glossines du dernier groupe vont à la recherche des hôtes en utilisant surtout les signaux visuels (Laveissière *et al.*, 1990 ; Mooloo, 1993). Elle pourrait également s'expliquer en partie par la différence dans la nature de leur habitat, celui-ci jouant un important rôle dans la vitesse et la direction de propagation des volatiles (Green, 1994).

- Le sexe

Certains attractifs visuels et olfactifs des glossines sont spécifiques au sexe. Den Otter (1991) a montré que si les réponses aux attractifs sont supérieures chez les femelles de *Glossina morsitans submorsitans*, ce sont les mâles qui réagissent le plus chez *Glossina tachinoides*. Saini (1986) a noté aussi cette différence de réaction entre les sexes. Mohamed – Ahmed et

Mihok (1999) avaient noté une plus grande attraction de femelles de *Glossina fuscipes fuscipes* que de mâles par le CO₂ au Kenya. Cette différence d'attraction par rapport au sexe n'est pas statique et peut évoluer selon la saison ou selon l'espèce (Amsler *et al.*, 1994).

- L'état nutritionnel des glossines

Le comportement des glossines est fortement tributaire de leur état nutritionnel (Hargrove, 1991). Les odeurs ont ainsi tendance à attirer les jeunes mouches affamées à faible poids et à faible réserve lipidique (Spath, 1995b). Au laboratoire, Brady (1972) a noté que la réponse d'activation de *Glossina pallidipes* à des cibles mobiles était corrélée au temps depuis lequel ces glossines ont été alimentées. Sur le terrain, Vale (1974a) a aussi montré que l'attraction des glossines par les leurres était plus forte pour les glossines affamées. Les glossines ténérables seraient cependant moins attirées par les odeurs, non qu'elles ne puissent pas les localiser (Hargrove et Vale, 1978) mais à cause du développement inachevé des muscles de leur ailes qui les pénalise en vol (Bursell, 1961). Cependant, certains auteurs ont rapporté de manière expérimentale des capacités d'apprentissage chez certaines glossines, telle *G. p. gambiensis* qui préférerait se nourrir sur un hôte sur lequel elle s'est déjà nourri au repas précédent, augmentant ainsi leur capacité d'adaptation à des situations particulières (Bouyer *et al.* 2005).

2.3.5.2 Facteurs extrinsèques

- L'habitat de la glossine

Le fait que les différents groupes de tsé – tsé groupes n'habitent pas toujours dans le même type de biotope pourrait aussi influencer leur réaction vis-à-vis des odeurs. En effet, les glossines du morsitans qui vivent en zone ouverte (savane) pourraient facilement se servir des odeurs pour localiser les hôtes mais une telle évidence manquerait chez les glossines du groupe palpalis vivant dans la végétation riveraine dense (Green, 1994). Dans la végétation dense, l'odeur se trouvera dans un mélange complexe qui résultera sur un signal confus ou sur une fausse direction (Brady *et al.*, 1989). Ce serait donc une raison pour laquelle *Glossina tachinoides* réagit plus positivement aux odeurs que *Glossina palpalis gambiensis*, la première pouvant mieux s'adapter à la savane. Pour certains composés attractifs tel le CO₂ existant à l'état naturel, il pourrait avoir interférence d'action entre les produits adjoints aux pièges et ces composés naturels. La densité de ces composés dépend de la végétation et elle est plus dense dans une végétation riveraine que dans la savane (Zollner *et al.*, 2004).

- La direction et l'intensité du vent

Les glossines se déplacent contre le vent, selon une trajectoire rectiligne jusqu'à la source d'odeurs (Vale, 1980). Même si la végétation est dense, elles utilisent les trouées créées par les pistes à gibier (Den Otter, 1991 ; Paynter et Brady, 1992). Les odeurs étant dispersées par le vent, les glossines se trouvant sur sa direction sont celles qui sont le plus attirées. En exemple, la face d'une grille se trouvant dans le sens du vent électrocute plus de 2 fois *Glossina tachinoides* mâles comme femelles que la portion inverse (Spath, 1995b). Un des habitats naturels des glossines du groupe palpalis sont les forêts linéaires bordant les rivières ou les lacs. Ces habitats sont de nos jours le plus souvent réduits et fragmentés, et bordés des zones de cultures extensives et de pâtures. La proximité alors d'une large surface d'eau a une influence sur l'air dans ce genre d'habitats naturels perturbés. Durant la journée, la terre absorbe la chaleur plus que l'eau par l'insolation et comme l'air au niveau du sol s'échauffe par convection, une pression atmosphérique différentielle est établie. Ce cycle journalier conduit l'air de l'eau à la terre au moment du pic d'activité des tsé – tsé. Les odeurs des hôtes dans ces genres d'habitats sont donc à priori dispersées constamment par de forts vents sur les zones ouvertes, au moment où il y a peu de glossines. Dans ces végétations linéaires, les

glossines n'auraient que quelques opportunités de localiser des hôtes par les odeurs transportées par le vent (Colvin et Gibson, 1992). Ainsi, la structure de la végétation et la vitesse du vent peuvent grandement affecter la nature et la qualité de l'information directionnelle transmise aux glossines.

- La dose

L'action d'un produit sur la glossine peut varier selon qu'il est de forte ou de faible dose. Ainsi par exemple, l'acide lactique qui attirerait *Glossina pallidipes* à faible dose (10 mg/h) les repousserait à forte dose (100 mg/h) (Vale, 1977). Egalement, le 1-octen-3-ol et le 3-méthylphenol, qui sont des attractifs bien connus seraient répulsifs à fortes concentrations (Voskamp *et al.*, 1999).

- Combinaisons d'odeurs

Il est courant qu'une bonne combinaison de plusieurs odeurs soit plus efficace que les odeurs simples utilisées individuellement (Politzar et Mérot, 1984). Par exemple, l'octénol potentialiserait l'action du méta-crésol qui seul n'aurait pratiquement aucune influence sur les captures (Amsler *et al.*, 1994a). Le CO₂ qui est un attractif potentiel pour beaucoup de diptères hématophages peut aussi agir en synergie avec d'autres composés tels que l'acétone ou l'octénol pour accroître les captures des glossines (Torr *et al.*, 1995) et d'autres diptères (Mihok *et al.*, 1996).

- Le type de piège utilisé

Pour une bonne synergie de l'attractivité visuelle et olfactive, le bon piège doit être utilisé avec le bon produit pour une meilleure efficacité (rentabilité). C'est ainsi que pour les glossines riveraines de l'Afrique de l'Ouest, le piège biconique Challier-Laveissière et le piège monoconique Vavoua seraient les mieux indiqués.

En somme, le comportement de la glossine vis-à-vis de l'attractif est lié à la nature de l'attractif lui-même mais aussi à plusieurs facteurs tels la saison, le type de piège utilisé, la dose de l'attractif, le site, à l'espèce de glossine et à leur sexe.

Références

- Amsler S., Filledier J., Millogo R. 1994a. Attractifs olfactifs pour la capture de *Glossina tachinoides* et *Glossina morsitans submorsitans* (Diptera : Glossinidae) au Burkina Faso. Effet de la position du sachet diffuseur dans le piège biconique Challier – Laveissière. *Revue d'Elevage et de Médecine vétérinaire des pays Tropicaux*, **47** (3) : 301–311.
- Amsler S., Filledier J., Millogo R. 1994b. Efficacité de différents pièges pour la capture de *Glossina tachinoides* (Diptera : Glossinidae) au Burkina Faso. *Revue d'Elevage et de Médecine vétérinaire des pays Tropicaux*, **47** (2) : 207-214.
- Anes N. 1982. Studies on *Trypanosoma rangeli tejera*, 1920. A reconsideration of its systematic position. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, **77** : 405-415.
- Bancé Z. A., Ouédraogo P. A., Dabiré R. 2006. Etude de la rémanence du triflumuron, inhibiteur de la synthèse de la chitine, selon la nature du tissu à l'égard de la mouche tsé – tsé *Glossina palpalis gambiense*, dans une perspective de lutte autocide. *Tropicicultura*, **24** (1) : 65-72.
- Bancé Z. A., Ouédraogo A. P., Bauer B., Kaboré I., Sidibé I. 2002. Efficacité du triflumuron selon la nature et la couleur du tissu à l'égard de *Glossina palpalis Gambiense* Vanderplank, 1949. *Insect Science and its Application*, **22** (4): 281–287.
- Bauer B., Amsler-Delafosse S., Kaboré I., Kamuanga M. 1999. Improvement of cattle productivity through rapid alleviation of African animal trypanosomosis by integrated disease management practices in the agropastoral zone of Yale, Burkina Faso. *Tropical Animal Health and Production*, **31**: 89-102.

- Bauer B., Amsler-Delafosse S., Clausen P. H., Kaboré I., Petrich-Bauer J. 1995. Successful application of deltamethrin pour on to cattle in a campaign against tsetse flies (*Glossina spp.*) in the pastoral zone of Samorogouan, Burkina Faso. *Tropical Medicine and Parasitology*, **46**: 183-189.
- Baylis M., Nambiro C. O. 1993. The response of *Glossina pallidipes* and *G. longipennis* (Diptera: Glossinidae) to odour-baited traps and targets at Galana Ranch, south-eastern Kenya. *Bulletin of Entomological Research*, **83** :145-151.
- BEH. 2006. Comment se protéger des piqûres de moustiques vecteurs de Chikungunya. Direction Générale de la santé N° hors série: <http://www.invs.sante.fr/beh/2006/>
- Bengaly Z., Sidibé I., Ganaba R., Desquesnes M., Boly H., Sawadogo L. 2002. Comparative pathogenicity of three genetically distinct types of *Trypanosoma congolense* in cattle: clinical observations and haematological changes. *Veterinary Parasitology*, **30**:108(1):1-19.
- Bouyer J., Cuisance D., Messad S., Guerin P. M. 2005. Learning affects host preference in tsetse flies. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **58**(1-2): 27-29.
- Bouyer J., Guerrini L., Desquesnes M., de la Rocque S., Cuisance D. 2006. Mapping African Animal trypanosomosis risk from the sky. *Veterinary Research*, **37**: 633-645.
- Brady J. 1972. Spontaneous, circadian components of tsetse fly activity. *Journal of Insect Physiology*, **18**:471-484.
- Brady J., Griffiths N., Paynter Q. 1989. Odour movement, wind direction, and the problem of host-finding by tsetse flies. *Physiological Entomology*, **14**: 369 – 380.
- Brightwell R., Dransfield R. D., Kyorku C. 1991. Development of a low-cost tsetse trap and odour baits for *Glossina pallidipes* and *G. longipennis* in Kenya. *Medical and Veterinary Entomology*, **5**: 153-164.
- Broden A. 1904. Les infections à trypanosomes au Congo chez l'homme et les animaux. *Bulletin de la Société Belge d'Etudes Coloniales*, Bruxelles, Février.
- Bursell E., Gough A. J. E., Beevor A., Cork A., Hall D. R., Vale G. A. 1988. Identification of components of cattle urine attractive to tsetse flies, *Glossina spp.* (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **78**:281-291.
- Bursell E. 1961. The behaviour of tsetse flies (*Glossina swynnertoni* Austen) in relation to problems of sampling. *Proceedings of the Royal Entomological Society of London*, **36**: 9-20.
- Carlson D. A., Mramba F., Sutton B. D., Bernier U. R., Geden C. J., Mori K. 2005. Sex pheromone of the tsetse species, *Glossina austeni*: isolation and identification of natural hydrocarbons, and bioassay of synthesized compounds. *Medical and Veterinary Entomology*, **19**: 470-479.
- Challier A., Laveissière C. 1973. Un nouveau piège pour la capture des glossines (*Glossina* : Diptera, Muscidae) : description et essais sur le terrain. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie médicale et Parasitologie*, **11** : 251-262
- Challier A., Eyraud M., Lafaye A., Laveissière C. 1977. Amélioration du rendement du piège biconique pour glossines (Diptera, Glossinidae) par l'emploi du cône inférieur bleu. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **15** : 283-286.
- Challier A. 1984. Perspectives d'utilisation des systèmes attractifs toxiques dans la lutte contre les glossines (Diptera: Glossinidae). *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **37**:31-39
- Chalmers A. J. 1908. The classification of trypanosomes. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **21**, 221.
- Cheke R. A., Garms R. 1988. Trials of compounds to enhance trap catches of *Glossina palpalis palpalis* in Liberia. *Medical and Veterinary Entomology*, **2**: 199-200.
- Chorley C. W. 1933. Traps for tsetse flies of « crinoline » and the « ventilator » forms. *Bulletin of Entomological Research*, **24**: 315–320.
- Clausen P. H., Adeyemi I., Bauer B., Breloer M., Salchow F., Staack C. 1998. Host preferences of tsetse (Diptera : Glossinidae) based on blood meal identifications. *Medical and Veterinary Entomology*, **12**: 169-180.
- Clem J. R., Havermann D. F., Raebel, M. A. 1993. Insect repellent (N, N-diethyl-m-toluamide) cardiovascular toxicity in an adult. *The Annals of Pharmacotherapy*, **27**(3): 289-293.

- Colvin J., Gibson G. 1992. Host-seeking behaviour and management of tsetse. *Annual Review of Entomology*, **37**:21-40.
- Corbel V., Stankiewicz M., Penetier C., Fournier D., Stojan J., Girard E., Dimitrov M., Molgo J., Hougard M., Lapied B. 2009. Evidence for inhibition of cholinesterases in insect and mammalian nervous systems by the insect repellent deet. *Bio-Medical Central Biology*, **7**:47 doi:10.1186/1741-7007/7/47
- Courtin F., Rayaissé J. B., Tamboura I., Serdébéogo O., Koudougou Z., Solano P., Sidibé I. 2010. Updating the Northern Tsetse Limit in Burkina Faso (1949–2009): Impact of Global Change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **7**: 1708-1719; doi:10.3390/ijerph7041708
- Courtin F., Sidibé I., Rouamba J., Jamonneau V., Gouro A., Solano P. 2009. Impacts observés des évolutions démoclimatiques sur la répartition spatiale des hommes, des tsé-tsé et des trypanosomes en Afrique de l'Ouest. *Parasite*, **16**: 3–10.
- Courtin F., Jamonneau V., Duvallet G., Garcia A., Coulibaly B., Doumenge J. P., Cuny G., Solano P. 2008. Sleeping sickness in West Africa (1906-2006): changes in spatial repartition and lessons from the past. *Tropical Medicine and International Health*, **13** :1–11.
- Cuisance D., de La Rocque S. 2003. Glossines et trypanosomes. *CIRAD – EMVT*. 79pp
- Cuisance D., Barré N., De Deken R. 1994. Ectoparasites des animaux : méthodes de lutte écologique, biologique, génétique et mécanique. *Revue Scientifique et Technique de l'Office Internationale des Epizooties*, **13**(4): 1305 – 1356.
- Cuisance D. 1989. Le piégeage des tsé – tsé. *Etudes et synthèses de l'IEMVT, n° 32, Maisons-Alfort*, 172 pp.
- Cuisance D., Politzar H., Merot P., Tamboura I. 1984. Les lâchers de mâles irradiés dans la campagne de lutte intégrée contre les glossines dans la zone pastorale de Sidéradougou (Burkina Faso). *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **37**(4) : 449 – 467.
- Cuisance, D., Politzar, H. 1983. Etude sur l'efficacité contre *Glossina palpalis gambiensis* et *Glossina tachinoides* de barrières constituées d'écrans ou de pièges biconiques imprégnés de D.D.T., de Deltaméthrine ou de Dieldrine. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **36**, 159-168.
- Da Costa B. F. P., Santanna J. F., Santos A. C., Alvares M. G. A. 1916. Sleeping sickness, a record of four years war against it in Principe, Portuguese West Africa. *London, Ballière, Tindall and Cox*.
- Dagnogo M., Traoré G., Koné M. 1996. Evaluation de l'attractivité de *Glossina palpalis palpalis* vis – à – vis de l'homme et du porc dans la région de Daloa en Côte d'Ivoire. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **49** (1) : 50-54.
- Davis E. E. 1985. Insect repellents: concepts of their mode of action relative to potential sensory mechanisms in mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*, **22**: 237-243.
- Debboun M., Frances S. P., Strickman, D., 2007. Insect repellents: principles, Methods, and uses. *CRC Press, Taylor & Francis Group*.
- de La Rocque S., Michel J. F., Cuisance D., De Wispelaere G., Solano P., Augusseau X., Arnaud M., Guillobez S. 2001. *Le risque trypanosomien*. CIRAD, Montpellier.
- Den Otter C. J. 1991. Olfactory responses of tsetse flies to phenols from buffalo urine. *Physiological Entomology*, **16**: 401 – 410.
- Desquesnes M., Dia M. L. 2003. Mechanical transmission of *Trypanosoma congolense* in cattle by the African tabanid *Atylotus agrestis*. *Experimental Parasitology*, **105**: 226-231.
- Desquesnes M., Dia M. L. 2003. *Trypanosoma vivax*: mechanical transmission in cattle by one of the most common African tabanids, *Atylotus agrestis*. *Experimental Parasitology*, **103**: 35-43.
- Desquesnes M. 1997. Les trypanosomes du bétail en Amérique Latine, étude spéciale dans le plateau des Guyanes. Thèse de Doctorat en parasitologie. Université de Lille, France. 409p.
- Doflein F. 1901. *Die Protozoen als Parasiten und Krankheitserreger*. Jena.
- Dransfield R. D., Brightwell R., Kyorku C., Williams B. 1990. Control of the tsetse fly (Diptera: Glossinidae) populations using traps at Nguruman, south-west Kenya. *Bulletin of Entomological Research*, **80**:265-276.

- Dransfield R. D., Brightwell R., Chaudry M. F., Golder J. K., Tarimo S. A. R. 1986. The use of odour attractants for sampling *Glossina pallidipes* Austen (Diptera: Glossinidae) at Nguruman, Kenya. *Bulletin of Entomological Research*, **76**: 607–619.
- Dutton, J. E. 1902. Preliminary note upon a trypanosoma occurring in the blood of man. *Thompson Yates and Johnston Laboratories, Report IV*, 455-467.
- Epsky N. D., Dueben B. D., Heath, R. R., Lauzon, C. R., Prokopy, R. J. 1997. Attraction of *Anastrepha suspensa* (Diptera: Tephritidae) to volatiles from avian fecal material. *The Florida Entomologist*, **80** :270-277.
- FAO. 1987. Manuel de Lutte contre la mouche tsé – tsé. Volume 3 : Les Méthodes de lutte et leurs effets secondaires (J.N. Pollock, edit). FAO, Rome, 151pp.
- Filledier J., Mérot P. 1989a. Etude de l'attractivité de solutions isolées par fractionnement de l'urine de bovin Baoulé pour *Glossina tachinoides* Westwood, 1850 au Burkina Faso. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **42**: 453-455.
- Filledier J., Mérot P. 1989b. Pouvoir attractif de l'association M-Cresol 1-Octen-3-ol dans un type de diffuseur pratique pour *Glossina tachinoides* au Burkina Faso. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **42**: 541-544.
- Flint S. 1985. A comparison of various traps for *Glossina spp.* (Glossinidae) and other Diptera. *Bulletin of Entomological Research*, **75**: 529-534.
- Frances S. P., Waterson D. G. E., Beebe N.W.W., Cooper R. D. 2004. Field evaluation of repellent formulations containing deet and picaridin against mosquitoes in Northern Territory, Australia. *Journal of Economic Entomology*, **41**(3) : 414-417.
- Frezil J.-L., Carnevale P. 1976. Utilisation de la carboglace pour la capture de *Glossina fuscipes quanzensis* Pires, avec le piège Challier-Laveissière. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie médicale et Parasitologie*, **15**(3) : 225-233.
- Galey J.-B., Mérot P., Mitteault A., Filledier J., Politzar H. 1986. Efficacité du dioxyde de carbone comme attractif pour *Glossina tachinoides* en savane humide d'Afrique de l'Ouest. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **39** (3-4): 351-354.
- Geerts S., Holmes P.H. 1998. Drug management and parasite resistance in bovine trypanosomiasis in Africa. *PAAT Technical Sciences Series*. N° 1, FAO, Rome.
- Gouteux J.P., Lancien J. 1986. Le piège pyramidal à tsé-tsé (Diptera: Glossinidae) pour la capture et la lutte. Essais comparatifs et description de nouveaux systèmes de capture. *Tropical Medicine and Parasitology*, **37**: 61-67.
- Gibson G., Torr S. J. 1999. Visual and olfactory responses of haematophagous Diptera to host. *Medical and Veterinary Entomology*, **13**: 2-23
- Gouteux J.P., Laveissière C. 1983. Ecologie des glossines en secteur pré-forestier de Côte - d'Ivoire. Les lieux de reproduction. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie médicale et Parasitologie*, **15**(1) :3-12.
- Gouteux J. P., Challier A., Laveissière C., Couret D. 1982. L'utilisation des écrans dans la lutte anti-tsé-tsé en zone forestière. *Tropenmedezin und Parasitologie*, **33** :163-168.
- Gouteux J. P., Challier A., Laveissière C. 1981. Modifications et essais du piège à glossines (Diptera : Glossinidae) « Challier – Laveissière ». *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie médicale et Parasitologie*, **14**(2): 87-93.
- Green C. H. 1994. Baits methods for tsetse fly control. *Advance in Parasitology*, **34**: 229 – 291.
- Grenn C. H. 1993. The effects of odours and target colour on landing responses of *Glossina morsitans morsitans* and *G. pallidipes* (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **83**:553-562.
- Green C. H. 1990. Landing behaviour. TRL Annual Report 1989. Bristol ODA and University of Bristol. 32676: 25-27.
- Green C. H. 1988. The effect of colour on trap and screen-orientated responses in *Glossina palpalis* (Robineau-Desvoidy) (Diptera : Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **78**: 591-604.

- Green C. H. 1986. Effect of colour in trap synthetic odours on the attraction of *Glossina pallidipes* and *G. morsitans morsitans* to traps and screens. *Physiological Entomology*, **11**: 411-421.
- Green C. H., Flint S. 1986. An analysis of colour effects in the performance of the F2 trap against *Glossina pallidipes* Austen and *G. morsitans morsitans* Westwood (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **76**: 409-418.
- Gruby D. 1943. Recherches et observations sur une nouvelle espèce d'hématozoaire, *Trypanosoma sanguinis*. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, **17**:11-34.
- Guerrini L., Bouyer J. 2007. Mapping African animal trypanosomosis risk: the landscape approach. *Veterinaria Italiana*, **43**: 643-654.
- Hall D. R., Burns R.E., Jenkins C.C., Hibbard K. L., Harris D.L., Sivinski J. M., Nigg H. N. 1998. Field comparison of chemical attractants and traps for Caribbean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Florida citrus. *Journal of Economic Entomology*, **98**(5): 1641-1647
- Hall D. R., Beevor P. S., Cork A., Nesbit B. F., Vale G. A. 1984. 1-octen-3-ol: a potent olfactory stimulant and attractant for tsetse isolated from cattle odours. *Insect Science and its Application*, **5**: 335-339.
- Hargrove J.W. 1991. Ovarian ages of tsetse flies (Diptera: Glossinidae) caught from mobile and stationary baits in the presence and absence of humans. *Bulletin of Entomological Research*, **81**: 43-50.
- Hargrove J.W., Langley P. I. 1990. Sterilizing tsetse (Diptera: Glossinidae) in the field: a successful trial. *Bulletin of Entomological Research*, **80**: 397-403.
- Hargrove J.W., Vale G.A. 1978. The effect of host odours concentration on catches of tsetse flies (*Glossinidae*) and other *Diptera* in the field. *Bulletin of Entomological Research*, **68**: 607 – 612.
- Harraca V., Syed Z., Guerin. P. M. 2009. Olfactory and behavioural responses of tsetse flies, *Glossina* spp., to rumen metabolites. *Journal of Comparative Physiology*, **195**: 815-824.
- Harris R. H. T. P. 1930. *Report on the bionomics of the tsetse fly (Glossina pallidipes Aust.) and a preliminary report on a new method of control*. Pietermaritzburg, presentation to the Provincial Administration of Natal.
- Hassanali A., McDowell P.G., Owaga M. L. A. Saini R. K. 1986. Identification of tsetse attractants from excretory products of a wild host animal, *Syncerys caffer*. *Insect Science and its Application*, **7**: 5-9.
- Hoare C.A., 1972. The trypanosomes of mammals. A Zoological Monograph. *Blackwell Scientific Publications, Oxford*, 749p.
- Hull C. D., Cribb B. W. 2001. Olfaction in the Queensland fruit fly, *Bactrocera tryoni*. I: Identification of olfactory receptor neuron types responding to environmental odors. *Journal of Chemical Ecology*, **27**: 871 - 887.
- Hursey B. S., Slingenber J. 1995. The tsetse flies and its effects on agriculture in sub-saharian Africa. *World Animal Review*, **84/85**: 67-73.
- International Atomic Energy Agency. 2003. Improved attractants for enhancing tsetse fly suppression. IAEA-TECDOC-1373, 121pp.
- Itard J. 2000. Les trypanosomoses animales africaines. Dans : *Précis de parasitologie vétérinaire tropicale*. Chartier C., Itard J., Morel P.C., Troncy P. M., éditeurs. *Éditions Tec & Doc/Éditions médicales internationales, Paris*.
- Itard J., Cuisance D. 2003. Vecteurs cycliques des trypanosomoses. In : *Principales maladies infectieuses et parasitaires du bétail*. Lefèvre P.C., Blancou J., Chermette R., éditeurs. *Éditions Tec & Doc /Éditions médicales internationales, Paris*.
- Jammonneau V., Koffi M., Solano P., Courtin D., Cuny G., Garcia A. 2004. Trypanosomose humaine africaine : interaction parasite /hôte et diversité clinique. *Bulletin de l'Association des Anciens Elèves de l'Institut Pasteur*, **46**(180) :105-110.
- Jang E. B., Khrimian A., Holler T. C., Casana-Giner V., Lux S., Carvalho L. A. 2005. Field response of mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) to ceralure B1 : Evaluations of enantiomeric B1 ratios on fly captures. *Journal of Economic Entomology*, **98**(4): 1139-1143.

- Jordan A. M. 1986. Trypanosomiasis control and African rural development. *Longman Group Limited, London*, 357 pp.
- Kabayo J. P. 2002. Aiming to eliminate tsetse from Africa. *Trends in Parasitology*, **18**: 473-475.
- Kgori P. M., Modo S., Torr S. J. 2006. The use of aerial spraying to eliminate tsetse from the Okavango Delta of Botswana. *Acta Tropica*, **99**: 184-199. doi:10.1016/j.actatropica.
- Kappmeier K., Nevill E. M. 1999. Evaluation of coloured targets for attraction of *Glossina brevipalpis* and *Glossina austeni* (Diptera: Glossinidae) in South Africa. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, **66**: 291 – 305.
- Kline D. L., Takken W., Wood J. R., Carlson, D.A. 1990a. Field studies on the potential of butanone, carbon dioxide, honey extract, 1-octen-3-ol, L-lactic acid and phenols as attractants for mosquitoes. *Medical and Veterinary Entomology*, **4**: 383-391.
- Kilne D. L., Wood J. R., Morris C. D. 1990b. Evaluation of 1-octen-3-ol as an attractant for *Coquillettidia perturbans*, *Mansonia* spp. and *Culex* spp. associated with phosphate mining operation. *Journal of the American Mosquito Control Association*, **6**: 605-611.
- Kristjanson P. M., Swallow B. M., Rowlands G. J., Kruska R. L., Leeuw P. N. 1999. Measuring the costs of African animal trypanosomiasis, the potential benefits of control and returns to research. *Agricultural Systems*, **59**: 79-98.
- Kuzoe F. A. S., Schofield C. J. 2005. Strategic Review of Traps and Targets for Tsetse and African Trypanosomiasis Control. TDR/IDE/ TRY/05.1, 58 pp.
- Kupper W., Staack C., Kröber T., Späth J. 1990. Natural host of *Glossina tachinoides* (Diptera: Glossinidae) in northern Côte d'Ivoire. *Tropical Medicine and Parasitology*, **41**: 217-218.
- Küpper W., Manno A., Douati A., Koulibali S. 1984. Impact des pièges biconiques imprégnés sur les populations de *Glossina palpalis gambiensis* et *Glossina tachinoides*: résultat d'une campagne de lutte à grande échelle contre la trypanosomose animale au nord de la Côte d'Ivoire. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **37**: 176-185.
- Lai D. H., Hashimi H., Lun Z., Ayala F. J., Lukeš J. 2008. Adaptation of *Trypanosoma brucei* to gradual loss of kinetoplast DNA: *T. equiperdum* and *T. evansi* are petite mutants of *T. brucei*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, **105**: 1999-2004.
- Lancien J. 1981. Description du piège monoconique utilisé pour l'élimination des glossines en République Populaire du Congo. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **19**:235-238.
- Laveissière C., Eouzan J. P., Grébaut P., Lemasson J. J. 1990. The control of riverine tsetse. *Insect Science and its Application*, **11**: 427 – 441.
- Laveissière C., Penchenier L. 2005. *Manuel de lutte contre la maladie du sommeil*, Paris: IRD Éditions (*Institut de Recherche pour le Développement*).
- Laveissière C., Grébaut P. 1990. Recherches sur les pièges à glossines (Diptera : Glossinidae). Mise au point d'un modèle économique : le piège « Vavoua ». *Tropical Medicine and Parasitology*, **41**: 185-192.
- Laveissière C., Couret D., Manno A. 1987. Importance de la nature des tissus dans la lutte par piégeage contre les glossines. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **25**: 133-143.
- Laveissière C., Couret D. 1982. Effet comparé des écrans et des pièges biconiques imprégnés d'insecticide sur les populations de *Glossina morsitans submorsitans* dans les galeries forestières. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **20**(1) :63-68.
- Laveissière C., Couret D. 1981a. Lutte contre les glossines riveraines à l'aide de pièges biconiques imprégnés d'insecticide en zone de savane. Expérimentation à grande échelle. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **15**(1):41-48.
- Laveissière C., Couret D. 1981b. Essai de lutte contre les glossines riveraines à l'aide d'écrans imprégnés d'insecticide. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **14**(4):271-283.
- Laveissière C., Couret D. 1981. Essai de lutte contre les glossines riveraines à l'aide d'écrans imprégnés d'insecticides. Rapport IRD N°20/IRTO/RAP/81.
- Laveissière C., Couret D. 1980. Lutte contre les glossines riveraines à l'aide de pièges biconiques imprégnés d'insecticide, en zone de savane humide. Description du milieu, du matériel et de la méthode. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **18**(3):201-207.

- Levine N. D., Corliss J. O., Cox F. E., Deroux G., Grain J., Hönigberg B., Lom J., Lynn D., Loeblich A. R., Merinfeld E. G., Page F. C., Poljansky G., Sprague Vavra J., Wallace F. G. 1980. A newly revised classification of the *Protozoa*. *Journal of Protozoology*, **27**:37-58.
- Mboera L. E. G., Takken W., Sambu E. Z. 2000a. ResearchThe response of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) to traps baited with carbon dioxide, 1-octen-3-ol, acetone, butyric acid and human foot odour in Tanzania. *Bulletin of Entomological Research*, **90** (2): 155-159.
- Mboera L. E. G., Knols B. G. J., Braks M. A. H., Takken W. 2000b. Comparison of carbon dioxide-baited trapping systems for sampling outdoor mosquito populations in Tanzania. *Medical and Veterinary Entomology*, **14** (3): 257-263.
- Mboera L. E. G., Mdira K. Y., Salum F. M. Takken W., Pickett J. A. 1999. Influence of synthetic oviposition pheromone and volatiles from soakage pits and grass infusions upon oviposition site-selection of *Culex mosquitoes* in Tanzania.. *Journal of Chemical Ecology*, **25**(8): 1855-1865.
- McCabe E. T., Barthel W. F., Gertler S. I., Hall S. A. 1954. Insect repellents, III, N, N-diethylamides. *Journal of Organic Chemistry*, **19**: 493-498.
- McIver S. B. 1981. A model for the mechanism of action of the repellent DEET on *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*, **18**: 357-361.
- McMahan C., Kröber T., Guerin P. 2003. In vitro assays for repellents and deterrents for ticks: differing effects of products when tested with attractant or arrestment stimuli. *Medical and Veterinary Entomology*, **17**:370 – 378.
- Meijerink J., Braks M. A. H., Brack A. A., Adam W., Dekker T., Posthumus M. A., Beek T. A., Loon Van J. J. A. 2000. Identification of olfactory stimulants for *Anopheles gambiae* from human sweat samples. *Journal of Chemical Ecology*, **26** (6): 1367-1382
- Mehlitz D. 1986. Le réservoir animal de la maladie du sommeil à *Trypanosoma brucei gambiense*. *Etudes et synthèses de l'Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, 156p.
- Mérot P., Filledier J. 1989. Résultats de recherches sur les écrans pour la lutte contre *Glossina tachinoides* en zone de savane soudano-guinéenne (Burkina Faso). *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **42** (4) : 545 – 550.
- Mérot P., Filledier J., Mulato C. 1988. Pouvoir attractif pour *Glossina tachinoides*, de produits chimiques isolés des odeurs animales. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **41** : 79-85.
- Mérot P., Galley J. B., Politzar H., Filledier J., Mitteault A. 1986. Pouvoir attractif de l'odeur des hôtes nourriciers pour *Glossina tachinoides* en zone soudano-guinéenne (Burkina Faso). *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **39**, 345 – 350.
- Mérot P., Politzar H., Tamboura I., Cuisance D. 1984. Résultats d'une campagne de lutte contre les glossines riveraines en Burkina par l'emploi d'écrans imprégnés de Deltaméthrine. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays tropicaux*, **37** :175-184.
- Mihok S., Maramba O., Munyoki E., Saleh K. 1996. Phenology of Stomoxyniae in a Kenyan forest. *Medical and Veterinary Entomology*, **10**: 305 – 316.
- Mihok S., Zwegarth E., Munyoki E. N., Wambua J., Kock R. 1994. *Trypanosoma simiae* in the white rhinoceros (*Ceratotherium simum*) and the dromedary camel (*Camelus dromedarius*). *Veterinary Parasitology*, **53**: 191-196
- Mohamed-Ahmed M. M., Mihok S. 1999. Responses of *Glossina fuscipes fuscipes* (Diptera : Glossinidae) and other Diptera to carbon dioxide in linear and dense forests. *Bulletin of Entomological Research*, **89**: 177-184.
- Mohamed-Ahmed M. M. 1998. Olfactory responses of *Glossina fuscipes fuscipes* (Diptera: Glossinidae) to the monitor lizard *Varanus niloticus niloticus*. *Bulletin of Entomological Research*, **88**: 311-317.
- Moloo S.K. 1993. The distribution of *Glossina* species in Africa and their natural host. *Insect Science and its Application*, **14**: 511–527.
- Morris K. R. S., Morris M. G. 1949. The use of traps against tsetse in West Africa. *Bulletin of Entomological Research*, **39**:491-528
- Mulligan H. W. 1970. "The African Trypanosomiasis". George Allen & Unwin, London. 950pp.

- Mumcuoglu K.Y., Galun R., Bach U., Miler J., Magdassi S. 1996. Repellency of essential oils and their compounds to the human body louse *Pediculus humanus humanus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **78**: 309 – 314.
- Nagel P. 1995. Environmental monitoring handbook for tsetse control operations. Editor : *The Scientific Environmental Monitoring Group (SEMG)*. 323 pages.
- Nash T. A. M., Trewen M. A., Moloo S. K. 1976. Observations on the free larval stage of *Glossina morsitans morsitans* Westw. (Diptera, Glossinidae): the possibility of a larval pheromone. *Bulletin of Entomological Research*, **66**: 17-24.
- Nelson D. R., Carlson D. A., Fatland C. L. 1988. Cuticular hydrocarbons of the tsetse flies, II: *G.p. palpalis*, *G.p. gambiensis*, *G. fuscipes*, *G. tachinoides* and *G. brevipalpis*. *Journal of Chemical Ecology*, **14**: 963-987.
- Njiokou F., Simo G., Mbida Mbida A., Truc P., Cuny G., Herder S. 2004. A study of host preference in tsetse flies using a modified heteroduplex PCR-based method. *Acta Tropica*, 117-120.
- Omolo M.O., Hassanali A., Mpiana S., Esterhuizen J., Lindh J., Lehane, M. J., Solano P., Rayaisse J. B., Vale G. A., Torr S. J., Tirados I. 2009. Prospects for developing odour baits to control *Glossina fuscipes* spp., the major vector of Human African Trypanosomiasis. *Plos Neglected Tropical Diseases*, **3**, e435.
- Owaya, M. L. A. 1985. Observations on the efficacy of buffalo urine as a potent olfactory attractant for *Glossina pallidipes* Austen. *Insect Science and its Application*, **6**:561-566.
- Paynter Q., Brady J. 1992. Flight behaviour of tsetse flies in thick bush (*Glossina pallidipes*) (Diptera : Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **82**: 513 – 516.
- Pinero J., Auja M., Vasquez A., Equihua M., Varon J. 2003. Human urine and chicken feces as fruit fly (Diptera: Tephritidae) attractants for resources-poor fruit growers. *Journal of Economic Entomology*, **96**(2): 334-340.
- Plimmer H. G., Bradford J. R. 1899. A preliminary note on the morphology and the distribution of the organism found in the tsetse fly disease. *Proceedings of the Royal Society of London*, **B 65**, 274.
- Politzar H., Mérot P. 1984. Attraction of the tsetse fly to acetone, 1-octen-3-ol, and the combination of these compounds in West Africa. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **37** (4) : 468-473.
- Politzar H., Cuisance D. 1984. An integrated campaign against riverine tsetse *Glossina palpalis gambiensis* and *Glossina tachinoides* by trapping and the release of sterile males. *Insect Science and its Application*, **5**: 439 – 442.
- Prokopy R. J., Papaj D. R., Hendricks J., Wong T. T. Y. 1992. Behavioral responses of *Ceratitis capitata* flies to bait spray droplets and natural food. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **64**:247-257.
- Rayaisse J. B., Courtin F., Akoudjim M., Cesar J., Solano P. 2009. Influence de l'anthropisation sur la végétation et l'abondance des tsé-tsé au sud du Burkina Faso. *Parasite*, **16**: 21-28.
- Robacker D.C., Garcia J.A., Bartelt R. J. 2000. Volatiles from duck feces attractive to Mexican fruit fly. *Journal of Chemical Ecology*, **26**(8): 1849 – 1867.
- Robacker D. C., Czokajlo D. 2005. Efficacy of two synthetic food-odor lures for Mexican fruit flies (Diptera: Tephritidae) is determined by trap type. *Journal of Economic Entomology*, **98**(5): 1517 -1523.
- Rogers D. J. 1990. A general model for tsetse populations. *Insect Science and its Application*, **11**(3): 331-346.
- Saini R. K. 1986. Antennal responses of *Glossina morsitans morsitans* to buffalo urine, a potent olfactory attractants of tsetse. *Insect Science and its Application*, **7**: 771-775.
- Shirai Y., Kamimura K., Seki T., Morohashi M. 2001. L-lactic acid as a mosquito (Diptera: Culicidae) repellent on human and mouse skin. *Journal of Economic Entomology*, **38**(1): 51-54.
- Simo G., Asonganyi T., Nkinin S. W., Njiokou F., Herder S. 2006. High prevalence of *Trypanosoma brucei gambiense* group 1 in pigs from the Fontem sleeping sickness focus in Cameroon. *Veterinary Parasitology*, **139**: 57-66.
- Solano P., Bouyer J, Itard J., Cuisance D. 2010. Cyclical vectors of Trypanosomosis. In *Infectious and Parasitic Diseases of Livestock*, Chap 013, p 155-180. P.C. Lefèvre, R. Blancou, J. Chermette & G. Uilenberg Eds., Lavoisier, France, 2 volumes, 1967 pages.

- Solano P., Cuny G., Vincendeau P., Jamonneau V. 2008. Virulence and pathogenicity patterns of *Trypanosoma brucei gambiense* field isolates in experimentally infected mouse : differences in host immune response modulation by secretome and proteomics. *Microbes and Infections*, **10**: 79-86.
- Solano, P., Amsler-Delafosse S. 1995. *Trypanosoma congolense* chez différentes espèces de taons (Diptera: Tabanidae) au Burkina Faso. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **48** (2):145-146.
- Späth J. 1997. Natural host odours as possible attractants for *Glossina tachinoides* and *G. longipalpis* (Diptera: Glossinidae). *Acta Tropica*, **68**:149-158.
- Späth J. 1995a. Olfactory attractants for West African tsetse flies *Glossina* spp. (Diptera: Glossinidae). *Tropical Medicine and Parasitology*, **46**: 253-257.
- Späth J. 1995b. Trap-oriented behaviour of the tsetse-fly species *Glossina tachinoides* (Diptera: Glossinidae). *Entomologia Generalis*, **19**: 209-224.
- Stephens J. W. W., Fantham H. B. 1910. On the peculiar morphology of a trypanosome from a case of sleeping sickness and the possibility of its being a new species (*T. rhodesiense*). *Proceedings of the Royal Society of London*, **86**:23-33.
- Swynnerton C. F. M. 1936. The tsetse flies of East Africa: a first study at their ecology, with a view to their control. *Transaction of the Royal Entomological Society of London*, **84**: 1-579.
- Swynnerton C. F. M. 1933. Some trap for tsetse flies. *Bulletin of Entomological Research*, **24**: 69-102.
- Syed Z., Guerin P. M. 2004. Tsetse flies are attracted to the invasive plant *Lantana camara*. *Journal of Insect Physiology*, **50**: 43-50.
- Thomas D.B., Holler T.C., Heath R. R., Salinas E. J., Moses A. L. 2001. Trap-lure combination for surveillance of *Anastrepha* fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomology*, **84**: 344-351.
- Torr S. J., Solano P. 2010. Olfaction in *Glossina*-host interactions: a tale of two tsetse. In Olfaction in vector hosts interactions: Ecology and control of vector borne diseases, vol. 2, chap 12, 265-289. Eds B. Knols & W. Takken, Wageningen University, Netherlands, 437 pages.
- Torr S. J., Mangwiroti T. N. C., Hall D. R. 2006. The effects of host physiology on the attraction of tsetse (Diptera : Glossinidae) and *Stomoxys* (Diptera : Muscidae) to cattle. *Bulletin of Entomological Research*, **96**: 71-84.
- Torr S. J., Mangwiroti T. N. C., Hall D. R. 1996. Responses of *Glossina pallidipes* (Diptera: Glossinidae) to synthetic repellents in field. *Bulletin of Entomological Research*, **8**: 609-616.
- Torr S. J. Hall D. R., Smith J. L. 1995. The responses of tsetse flies (Diptera: Glossinidae) to natural and synthetic ox odour. *Bulletin of Entomological Research*, **85**: 157-166.
- Torr S. J. 1990. Dose response of tsetse flies (*Glossina*) to carbon dioxide, acetone and octénol in the field. *Physiological entomology*, **15**: 93-103.
- Torr S. J. 1989. The host-oriented behaviour of tsetse flies (*Glossina*): the interaction of visual and olfactory stimuli. *Physiological Entomology*, **14**: 325-340.
- Vale G. A., Torr S. J. 2004. Development of bait technology to control tsetse. pp. 509-523 in Maudlin, I., Holmes, P.H. & Miles, M.A. (Eds.) *The Trypanosomiases*. Wallingford, UK, Commonwealth Agricultural Bureau International.
- Vale G.A. 1993. Development of baits for tsetse flies (Diptera: Glossinidae) in Zimbabwe. *Journal of medical Entomology*, **30**:831 – 842.
- Vale G. A., Lovemore D. F., Flint S., Cockbill G. F. 1988a. Odour-baited targets to control tsetse flies, *Glossina* spp (Diptera: Glossinidae), in Zimbabwe. *Bulletin of Entomological Research*, **78**: 31–49.
- Vale G. A., Hall D. R., Gough A. J. E. 1988b. The olfactory response of tsetse flies, *Glossina* spp. (Diptera: Glossinidae), in Zimbabwe. *Bulletin of Entomological Research*, **78**: 293-300.
- Vale G. A., Hargrove J. W., Cockbill G. F., Phelps R. J. 1986a. Fields trials of baits to control populations of *Glossina morsitans morsitans* Westwood and *Glossina pallidipes* Austen (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **76**: 179-193.
- Vale G. A., Flint S., Hall D. R. 1986b. The fields responses of tsetse flies, *Glossina* spp. (Diptera: Glossinidae), to odours of hosts residues. *Bulletin of Entomological Research*, **76**: 685-693.
- Vale G. A., Hall D. R. 1985a. The role of 1-octen-3-ol, acetone and carbon dioxide in the attraction of tsetse flies, *Glossina* spp. (Diptera: Glossinidae), to ox odour. *Bulletin of Entomological Research*, **75**: 209-217.

- Vale G. A., Hall D. R. 1985b. The use of 1-octen-3-ol, acetone and carbon dioxide to improve baits for tsetse flies (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **75**: 219-231.
- Vale G. A. 1980. Field studies of the responses of tsetse flies (*Diptera: Glossinidae*) and others *Diptera* to carbon dioxide, acetone, and others chemicals. *Bulletin of Entomological Research*, **70**: 563 – 570.
- Vale G. A. 1979. Field responses of tsetse flies (*Diptera: Glossinidae*) to odours of men, lactic acid and carbon dioxide. *Bulletin of Entomological Research*, **69**: 459 – 467.
- Vale G.A. 1974a. New field methods for studying the responses of tsetse flies (Diptera: Glossinidae) to hosts. *Bulletin of Entomological Research*, **64**: 199-208.
- Vale G.A. 1974b. The responses of tsetse flies (Diptera: Glossinidae) to mobile and stationary baits. *Bulletin of Entomological Research* **64**, 545-588.
- Voskamp K. E, Everaarts E., Den Otter C. J. 1999. Olfactory responses to attractants and repellents in tsetse. *Medical and Veterinary Entomology*, **13**: 386-392.
- Vreysen M. J .B., Saleh K. M., Ali M.Y., Abdulla A. M., Zhu Z. R., Juma K. G., Dyck V. A., Msangi A. R., Mkonyi P. A., Feldmann H. U. 2000. *Glossina austeni* (Diptera: Glossinidae) eradicated on the Island of Unguja, Zanzibar, using the sterile insect technique. *Journal of Economic Entomology*, **93**: 123-135.
- Winrock International, 1992. *Assessment of Animal Agriculture in Sub-Saharan Africa*. Winrock International Institute for Agricultural Development, Morrilton, Arkansas.
- W.H.O. 2006. "Human Africa trypanosomiasis (sleeping sickness)". *Weekly Epidemiological Record*, **81**: 71-80.
- Willemsse I. 1991. A trial of odour baited targets to control the tsetse fly, *Glossina morsitans centralis* (Diptera: Glossinidae) in west Zambia. *Bulletin of Entomological Research*, **81**: 351-357.
- Zollner G. E., Torr S. J., Ammann C., Meixner F. X. 2004. Dispersion of carbon dioxide plumes in African woodland: implications for host-finding by tsetse flies. *Physiological Entomology*, **2**: 381-394.

Chapter 3: Development of field attractants for palpalis group tsetse flies in Burkina Faso

Jean-Baptiste Rayaissé^{1,*}, Thomas Kröeber², Idrissa Kabore³, István Ujváry⁴ and Patrick M. Guerin²

¹Ecole de Lutte Anti Tsé – Tsé (ELAT). 01 BP 161 Bobo – Dioulasso 01, Burkina Faso

²Institute of Biology, University of Neuchâtel, Rue Emile-Argand 11, 2009 Neuchâtel, Switzerland.

³Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en Zone Subhumide (CIRDES), BP 454, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

⁴Institute of Chemistry, Chemical Research Centre, Hungarian Academy of Sciences, Pusztaszeri u. 59-67, H-1025 Budapest, Hungary.

Corresponding author:

Name: Jean-Baptiste Rayaissé

*Current address: Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en Zone Subhumide (CIRDES), BP 454, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

e-mail: jbrayaissé@hotmail.com; jean.rayaissé@cirdes.org

Abstract

Traps are commonly used to control riverine and degraded-forest tsetse species such as *Glossina p. gambiensis* and *G. tachinoides* in West Africa where deployment of insecticide-impregnated traps can lead to more than a 90% reduction in fly population densities. Since baits can improve the efficacy of traps for some morsitans tsetse spp. we deemed it appropriate to develop attractant baits for traps used for palpalis group flies. We assessed the effects of dispensing a mixture of 3-*n*-propylphenol, 1-octen-3-ol, para-cresol and acetone (POCA blend) and other tsetse fly semiochemicals on captures of *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* in biconical traps. Adding the POCA blend caused an increase in trap capture of up to 2-fold for both *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* ($p < 0.05$). Adding a dispenser that released the sesquiterpene β -caryophyllene with the POCA blend caused a further though not significant increase in trap capture (>2 -fold) of both species. This is of particular interest for *G. p. gambiensis*, as it constitutes one of the rare occasions this species is recorded to show a clear response to tsetse fly semiochemicals.

Keyword index

Tsetse flies, *Glossina palpalis gambiensis*, *Glossina tachinoides*, tsetse trapping, tsetse attractants, tsetse control

Introduction

Among the different tsetse control methods, traps and targets of various shapes and colour are widely used and adopted by rural communities (Bauer *et al.*, 1999). This is due to trap efficacy, ease of use and their relatively low cost. In addition, traps and targets are ecologically compatible and relatively specific. Traps exist for some riverine tsetse species, especially in West Africa where the Challier-Laveissière biconical trap (Challier *et al.*, 1973) and the monoconical Vaouva trap (Laveissière *et al.*, 1990) are commonly used for riverine and degraded forest species such as *Glossina p. gambiensis* (Vanderplank, 1949) and *G. tachinoides* (Westwood, 1850) in Burkina Faso. These traps can lead to more than 90% reduction in fly population densities, when impregnated with insecticide (Cuisance *et al.*, 1983; Djiteye *et al.*, 2005). Increasing the efficacy of traps and targets could thus lead to even better population reductions.

It's known that tsetse partially localize their hosts using olfactory cues, and host odors could be used as attractants (Späth, 1997; Omolo, 2009). However, previous work undertaken in Western and Central Africa showed that tsetse spp. from the Palpalis group do not respond well to attractants to which the morsitans group is sensitive (Amsler *et al.*, 1994). Palpalis spp. play an important role in the epidemiology of sleeping sickness in Western and Central Africa and can also transmit the pathogen causing African animal trypanosomiasis, or nagana, to cattle. Considering the social and economic impact of these diseases (see, for example, Feldmann *et al.*, 2005) and the role of palpalis tsetse species in their transmission, we deemed it appropriate to develop attractants for this group of flies which, as our preliminary studies have shown (IAEA 2003), are responsive to certain semiochemicals. We report here on different combinations of chemicals that could serve to increase the efficacy of biconical traps for the capture of the riverine species *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides*.

Materials and methods

Field trials were undertaken in two geographic zones. The first was made in June 2003 along the Sissili River in the Nazinga Game Ranch (~11°05'N, 01°30'W) in southern Burkina Faso and the second was made in May 2004 on the Mouhoun River in Banwa Povice (~12°14' N, 04°23' W) North of Bobo-Dioulasso in western Burkina Faso. Each trial consisted of six replicates of six treatments in a completely randomised Latin Square design carried out over six days. The trials extended a few kilometers along the Sissili and Mouhoun rivers, with a minimum of 100m between successive traps. At a given location the biconical trap stood on the water's edge or just over the edge, with the requirement that it be visible from as wide an angle as possible from the river despite the trees growing along the watercourse. For logistical reasons, treatments were moved one position within a replicate each day, i.e. a treatment at position 2 on day x was placed at position 3 the following day, and the one at position 6 moved to position 1 the next day. Traps used for both experiments were of the Challier-Laveissière biconical trap type (Challier *et al.*, 1973) made of blue cotton (Filature Tissage Gonfreville Textile Company, Bouaké, Ivory Coast,) with a maximal spectral reflectance at 465 nm as read with a spectrophotometer (Datacolor Check Spectrophotometer, Datacolor, USA). The black cloth and white mosquito netting used in the traps were sourced from the local market in Bobo-Dioulasso.

The sachets (except for the CIRDES dispensers, below) used to release chemicals were made of 0.15 mm thick polyethylene measuring 4 cm x 4 cm, providing a diffusion surface of 32 cm². They were made in the Budapest Laboratory (Chemical Research Centre, Hungarian Academy of Sciences) from polyethylene foil purchased locally. Sealing of the sachets was done with a conventional electric household thermal sealer (Hauser-brand). The sachets were filled with a 1:4:8 mixture of 3-n-propylphenol, 1-octen-3-ol and para-cresol. Acetone was dispensed from half-filled 60ml brown glass bottles capped by a polypropylene lid with a 2mm hole in it. The POCA treatment referred to here is the designation given to the odour bait of 3-n-propylphenol, 1-octen-3-ol, para-cresol plus acetone (IAEA, 2003). 3-n-Propylphenol was prepared as described earlier and was 99% pure as established by high performance gas liquid chromatography (Ujváry and Mikite 2003). Racemic 1-octen-3-ol was from Merck KGaA (Darmstadt, Germany) and para-cresol was from Fluka (Buchs SG, Switzerland), both higher than 98% pure as declared by the supplier. When 1-octen-3-ol was dispensed on its own (2 ml) it was released from the 4x4cm cm polyethylene sachet. meta-Cresol and 1-octenol-3-ol (both 98% pure) used in the CIRDES dispensers, were sourced, respectively, from LABOSI, Paris, France, and Fluka AG (Buchs, Switzerland) and used as a 3:1 mixture. Four ml of the mixture was sealed in 0.15 mm thick polyethylene foil (Fasoplast, Bobo-Dioulasso) sachets of the same size as described above. 3ml β -caryophyllene (93% pure, Robertet, Grasse, France), identified as a tsetse fly semiochemical (Syed and Guerin, 2004), was dispensed separately from polypropylene vials (1.5mm wall thickness, 16mm diam., 30mm high, Semadeni, Ostermundigen, Switzerland) with two 1mm holes in the lid. Decanal (3.5ml; 95% pure, Sigma-Adrich Co., Budapest, Hungary) was dispensed from a polyethylene sachet in a treatment with another sachets containing 2 ml 1-octen-3-ol *plus* 2.5 ml para-cresol, a polypropylene vial with β -caryophyllene and a glass bottle dispensing acetone. Dispensers were hung by wire from the bottom of the trap and the bottle with acetone was set in the soil next to the base of the metal pole of the trap. The treatments tested at the two sites are listed in Tables 1 to 3.

Natural log (x+1) transformation of trap catches of *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* rendered the fly counts suitable for ANOVA using R (v.2.11.0, 2010) with treatment, day, position and replicate as predictors. Only predictors retained in the stepwise ANOVA were kept in the algorithm. The results take into account a significant position and day effect so the

means provided were corrected for the effects of these predictors with the exception of the data for female *G. palpalis gambiensis* where only the day effect was compensated for. The numbers provided in Results are the mean fly captures per treatment (obtained by detransforming the means corrected for day and position effects of the log transformed data). Paired comparisons between treatments were made using the Tukey post hoc test ($P < 0.05$; Hothorn *et al.*, 2008). Catches for odour baited traps are expressed as a proportion of the catch in the biconical trap alone (trap capture index).

Results

At the Nazinga Ranch in the Sissili province, only data on *Glossina tachinoides* (Table 1) could be analyzed with relevancy. *G. morsitans submorsitans*, the other species of interest in the area, was present at very low densities in June (rain season) of 2003. Despite low *G. tachinoides* catches (≤ 4.20 tsetse/trap/day), the POCA mixture of semiochemicals showed a positive effect, increasing catches up to 2-fold (Table 1) for both males and females, but none of these effects were statistically significant. The effect of the POCA mixture on trap catch was somewhat higher with β -caryophyllene added but this increase was only statistically significant for males. Dropping 3-n-propylphenol from this 5-component mixture resulted in significantly less flies being caught. Substituting 3-n-propylphenol with decanal, an electrophysiologically active odour component of bovid hosts of *G. morsitans morsitans* (Gikonyo *et al.*, 2002 and 2003), partially restored the attractivity of the trap. Adding dispensers with 1-octen-3-ol and β -caryophyllene to the trap had an insignificant effect on the trap capture index.

Table 1: Detransformed mean *G. tachinoides* trap captures according to treatment at Nazinga Ranch, Sissili river 2003

| Treatments | Male | Female | Total | Trap capture index |
|--|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Biconical trap (without bait) | 0.98 ^a | 1.01 | 1.65 | 1 |
| Trap+1-octen-3-ol+ β -caryophyllene | 1.40 | 1.06 | 2.00 | 1.21 |
| Trap+1-octen-3-ol+p-cresol+acetone+ β -caryophyllene | 0.89 ^b | 0.72 ^{abc} | 1.17 ^{abc} | 0.71 |
| Trap+1-octen-3-ol+p-cresol+decanal+acetone+ β -caryophyllene | 1.61 | 1.93 ^a | 3.00 ^a | 1.82 |
| Trap+POCA | 1.95 | 2.29 ^b | 3.67 ^b | 2.23 |
| Trap+POCA+ β -caryophyllene | 2.56 ^{ab} | 2.38 ^c | 4.21 ^c | 2.56 |

ANOVA indicates significant differences between treatments for males, females and the pooled sexes; within columns, means followed by the same letter are significantly different (Tukey post hoc test, $P = 0.05$). Catch index is the mean catch of an odour-baited trap expressed as a proportion of that of the trap alone.

Both Palpalis group spp., *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis*, were caught on the Mouhoun in May–June (rainy season) 2004. As on the Sissili site, the POCA mixture and POCA + β -caryophyllene treatment induced the strongest increase in trap catch (>2 for both sexes) compared to the trap alone ($p < 0.05$), with the treatment containing β -caryophyllene fairing slightly better for both *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* (Tables 2 and 3). A dispenser containing para-cresol plus 1-octen-3-ol, a blend previously used to bait traps and targets for palpalis group tsetse at CIRDES, Burkina Faso, had only a marginal effect on the trap catch index. Adding β -caryophyllene to the binary mixture of meta-cresol and 1-octen-3-ol,

increased the trap capture index for both *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis*, but this increase was not statistically significant for either species. The treatment in which β -caryophyllene was substituted for acetone in combination with 3-n-propylphenol, 1-octen-3-ol and para-cresol caused a significant increase in captures of both *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis*, with total captures no different to that recorded for the POCA blend of semiochemicals for either species (Tables 2 and 3). Trends were almost the same for males and females throughout.

Table 2: Detransformed mean *G. tachinoides* trap captures according to treatment on the Mouhoun river 2004

| Treatments | Male | Female | Total | Trap capture index |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Biconical trap (without bait) | 1.85 ^{abc} | 1.31 ^a | 2.73 ^{abc} | 1 |
| Trap+POCA | 4.04 ^a | 2.18 ^b | 5.38 ^{ad} | 1.97 |
| Trap + POCA + β -caryophyllene | 3.97 ^b | 2.73 ^{acd} | 6.17 ^{bef} | 2.26 |
| Trap + 3-n-propylphenol + 1-octen-3-ol+ p-cresol + β -caryophyllene | 3.31 ^c | 2.16 | 5.30 ^c | 1.94 |
| Trap + m-cresol+1-octen-3-ol (CIRDES dispenser) | 2.77 | 1.19 ^{bc} | 3.27 ^{de} | 1.20 |
| Trap + m-cresol+1-octen-3-ol (CIRDES dispenser) + β -caryophyllene | 2.46 | 1.62 ^d | 3.68 ^f | 1.35 |

ANOVA indicates significant differences between treatments for males, females and the pooled sexes; within columns, means followed by the same letter are significantly different (Tukey post hoc test, $P = 0.05$). For explanation of the trap capture index see footnote to Table 1.

Table 3: Detransformed mean *G. palpalis gambiensis* trap captures according to treatment on the Mouhoun river 2004

| Treatments | Male | Female | Total | Trap capture index |
|---|----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| Biconical trap (without bait) | 0.46 ^{ab} | 0.23 ^{abc} | 0.60 ^{abc} | 1 |
| Trap+POCA | 1.30 ^a | 0.94 ^{ade} | 2.00 ^{ade} | 3.35 |
| Trap + POCA + β -caryophyllene | 1.72 ^{bcde} | 0.87 ^{bf} | 2.30 ^{bf} | 3.84 |
| Trap + 3-n-propylphenol + 1-octen-3-ol+ p-cresol + β -caryophyllene | 0.82 ^c | 0.84 ^{cg} | 1.53 ^{ch} | 2.55 |
| Trap + m-cresol+1-octen-3-ol (CIRDES dispenser) | 0.69 ^d | 0.08 ^{dfg} | 0.64 ^{dfgh} | 1.08 |
| Trap + m-cresol+1-octen-3-ol (CIRDES dispenser) + β -caryophyllene | 0.86 ^e | 0.37 ^e | 1.11 ^e | 1.85 |

The ANOVA indicates significant differences between treatments for males, females and the pooled sexes; within columns, means followed by the same letter are significantly different ($P = 0.05$). For explanation of the trap capture index see footnote to Table 1.

Discussion

Adding the POCA blend of semiochemicals to biconical traps increased captures of both males and females *G. tachinoides* by a factor of two on the Sissili and Mouhoun rivers, confirming our preliminary results obtained with this blend in 2002 on the Mouhoun (IAEA, 2003), and more recently in the Comoé site, southern Burkina Faso and on the Mouhoun river

(Rayaisse *et al.*, 2010). Filledier and Mérot (1989 a and b) already recorded trap capture index increases of 2.5 with a meta-cresol plus octenol combination added to the biconical trap at the Comoé site. The only previous increase in trap capture of this order obtained for *G. tachinoides* was with CO₂ (dry ice) where an increase in biconical trap captures of up to 3 fold was recorded by Galey *et al.* (1986). Adding the plant volatile β -caryophyllene always improved the capture index of the POCA treatment for *G. tachinoides* in this study, though this effect was not statistically significant. The effects of plant products on *G. tachinoides* had already been recorded in Mali in 1999 where dispensers with the essential oil of *Pinus sylvestris* on biconical traps caused an increase of over four-fold in the trap capture index for this species (IAEA, 2003).

On the Sissili river, the treatment without 3-n-propylphenol, i.e. octenol + para-cresol + acetone + β -caryophyllene, caught significantly less *G. tachinoides* males and females than the POCA or POCA + β -caryophyllene treatments. This underlines the importance of 3-n-propylphenol to the attractant blend for tsetse as has been previously shown for morsitans group (Vale *et al.*, 1988a and b; Dransfield *et al.*, 1986). Adding decanal to 1-octen-3-ol + para-cresol + acetone + β -caryophyllene caused trap catches to increase to that of the POCA blend.

The same trend as for *G. tachinoides* was recorded for *G. p. gambiensis*, which was only caught on the Mouhoun. The effect of the POCA blend of semiochemicals on *G. p. gambiensis* trap capture index was even greater than on *G. tachinoides*, and as for *G. tachinoides*, adding β -caryophyllene improved the trap capture index of the POCA treatment, to reach an increase of almost 4 fold. This is the best trap capture index induced by attractants ever reported for this species, and confirms our earlier results obtained with the POCA blend of semiochemicals with biconical traps in the same area in 2001 (IAEA, 2003; Rayaisse *et al.*, 2010).

The POCA blend of semiochemicals has been proven to be the best attractant for savannah species, with even greater increases in the trap capture index recorded than for palpalis spp. using the F3 trap (Vale *et al.*, 1988 a and b ; Dransfield *et al.*, 1986). This common effect of the POCA mixture of semiochemicals on tsetse flies is probably due to the fact that tsetse spp. share common hosts for blood meals. Clausen *et al.* (1998) found that palpalis and morsitans group tsetse took, respectively, 17.8 and 21% of their blood meals on ruminants. Moreover, it has recently been observed that rumen metabolites are perceived by tsetse fly spp. from a range of habitats (Harraca *et al.*, 2009). An overall remark that can be made for palpalis group flies following these field trials is the global positive reaction of both *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* to the POCA plus β -caryophyllene treatment added to the biconical trap. This is of particular interest for *G. p. gambiensis*, since this species has rarely shown a clear response to semiochemicals. Dose dependent electroantennogram responses have been recorded in *G. p. gambiensis* to constituents of the POCA blend of chemicals (IAEA, 2003). The logical follow-up step would be to find the appropriate release rate of β -caryophyllene to further improve the attractivity of the POCA blend, and the effects of some other caryophyllene isomers should also be considered.

Acknowledgements

We are grateful to CIRDES administration for the logistic facilities provided for this field work, and to Lancina Sanogo, Wilfrid Yoni, and Paulin Campaoré for the technical assistance. We thank Dr. Philippe Solano for reading the manuscript and Dr. Udo Feldmann at the IAEA, Vienna, Austria for support. We also thank the Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC), Federal Department of Foreign Affairs, for supporting the three-month research visit by Jean-Baptiste Rayaisse at the Department of Animal Physiology, University of Neuchâtel.

References

- Amsler S., Filledier J., Millogo R. 1994. Attractifs olfactifs pour la capture de *Glossina tachinoides* et *Glossina morsitans submorsitans* (Diptera : Glossinidae) au Burkina Faso. Effet de la position du sachet diffuseur dans le piège biconique Challier – Laveissière. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **47**:301-311.
- Bauer B., Amsler-Delafosse S., Kaboré I., Kamuanga M. 1999. Improvement of cattle productivity through rapid alleviation of African animal trypanosomosis by integrated disease management practices in the agropastoral zone of Yale, Burkina Faso. *Tropical Animal Health and Production*, **31**: 89-102.
- Challier A., Laveissière C. 1973. Un nouveau piège pour la capture des glossines (*Glossina* : Diptera, Muscidae) : description et essais sur le terrain. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie médicale et Parasitologie*, **11** : 251-262.
- Clausen P. H., Adeyemi I., Bauer B., Breloer M., Salchow F., Staak C. 1998. Host preferences of tsetse (Diptera: Glossinidae) based on bloodmeal identifications. *Medical and Veterinary Entomology*, **12**: 169-180.
- Cuisance D., Politzar H. 1983. Etude sur l'efficacité contre *Glossina palpalis gambiensis* et *Glossina tachinoides* de barrières constituées d'écrans ou de pièges biconiques imprégnés de DDT, de deltaméthrine ou de dieldrine. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **36** (2) : 159 - 168.
- Djiteye A., Koné A., Sidibé I., Ouologuem B., Djouara H., Bengaly Z., Bocoum Z., Diarra B., A.W. 2005. Control trial on *Glossina morsitans submorsitans*, *G. palpalis gambiensis* and *tachinoides* in the Sudanese-Guinese zone of Mali, using deltamethrin impregnated traps with rural communities participation (in French). pp. XXX in OAU/STRC. (Ed.), ISCTRC Publication No. 123, *International Scientific Council for Trypanosomiasis Research and Control, 28th Meeting, Addis Ababa, Ethiopia*.
- Dransfield R. D., Brightwell R., Chaudry M. F., Golder J. K., Tarimo S. A. R. 1986. The use of odour attractants for sampling *Glossina pallidipes* Austen (Diptera: Glossinidae) at Nguruman, Kenya. *Bulletin of Entomological Research*, **76**: 607-619.
- Feldmann U., Dyck V. A., Mattioli R. C., Jannin J. 2005. Potential impact of tsetse fly control involving the sterile insect technique. In: *Sterile Insect Technique. Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*. (V. A. Dyck, J. Hendrichs, and A. S. Robinson, eds.) IAEA-Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp. 701-723.
- Filledier J., Mérot P. 1989a. Pouvoir attractif de l'association M-Crésol 1-Octen-3-ol dans un type de diffuseur pratique pour *Glossina tachinoides* au Burkina Faso. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **42**: 541-544.
- Filledier J., Mérot P. 1989b. Etude de l'attractivité de solutions isolées par fractionnement de l'urine de bovin Baoulé pour *Glossina tachinoides* Westwood, 1850 au Burkina Faso. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **42**: 453-455.
- Galey J. B., Mérot P., Mitteault A., Filledier J., Politzar H. 1986. Efficacité du dioxyde de carbone comme attractif pour *Glossina tachinoides* en savane humide d'Afrique de l'Ouest. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **39**: 351-354.
- Gikonyo N. K., Hassanali A., Njagi P. G. N., Gitu P. M., Midiwo J. O. 2002. Odor composition of preferred (buffalo and ox) and nonpreferred (waterbuck) hosts of some savanna tsetse flies. *Journal of Chemical Ecology*, **28**: 969-981.
- Gikonyo N. K., Hassanali A., Njagi P. G. N., Saini R. K. 2003. Responses of *Glossina morsitans morsitans* to blends of electroantennographically active compounds in the odors of its preferred (buffalo and ox) and nonpreferred (waterbuck) hosts. *Journal of Chemical Ecology*, **29**: 2331-2345.
- Harraca V., Syed Z., Guerin P. M. 2009. Olfactory and behavioural responses of tsetse flies, *Glossina* spp., to rumen metabolites. *Journal of Comparative Physiology*, **195**: 815-824.

- Hothorn T., Bretz F., Westfall P. 2008. Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal*, **50**(3), 346-363.
- International Atomic Energy Agency. 2003. Improved attractants for enhancing tsetse fly suppression. IAEA-TECDOC-1373, 121pp.
- Laveissière C., Grébaud P. 1990. Recherches sur les pièges à glossines (*Diptera: Glossinidae*). Mise au point d'un modèle économique : le piège « Vavoua ». *Tropical Medicine and Parasitology*, **41**: 185-192.
- Omolo M. O., Hassanali A., Mpiana S., Esterhuizen J., Lindh J., Lehane M. J., Solano P., Rayaisse J. B., Vale G. A., Torr S. J., Tirados I. 2009. Prospects for developing odour baits to control *Glossina fuscipes* spp., the major vector of Human African Trypanosomiasis. *Plos Neglected Tropical Diseases*, **3**, e435. doi:10.1371/journal.pntd.0000435
- Rayaisse J. B., Tirados I., Kaba D., Dewhirst S. Y., Logan J. G., Diarrassouba A., Salou E., Omolo M., Solano P., Lehane M. J., Pickett J. A., Vale G. A., Torr S. J., Esterhuizen J. 2010. Prospects for the development of odour baits to control the tsetse flies *Glossina tachinoides* and *G. palpalis* s.l. *Plos Neglected Tropical Disease* 4(3): e632. doi:10.1371/journal.pntd.0000632
- R Development Core Team. 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Späth J. 1997. Natural host odors as possible attractants for *Glossina tachinoides* and *G. longipalpis* (Diptera: Glossinidae). *Acta Tropica*, **68**:149-158.
- Syed Z., Guerin P. M. 2004. Tsetse flies are attracted to the invasive plant *Lantana camara*. *Jouranl of Insect Physiology*, **50**: 43-50.
- Ujváry, I., Mikite G. 2003. A practical synthesis of 3-*n*-propylphenol, a component of tsetse fly attractant blends. *Organic Process Research and Development*, **7**: 585-587.
- Vale G. A., Lovemore D. F., Flint S., Cockbill G. F. 1988a. Odour-baited targets to control tsetse flies, *Glossina* spp (*Diptera: Glossinidae*), in Zimbabwe. *Bulletin of Entomological Research*, **78**: 31-49.
- Vale G. A., Hall D. R. Gough A. J. E. 1988b. The olfactory responses of tsetse flies, *Glossina* spp. (*Diptera: Glossinidae*), to phenols and urine in the field. *Bulletin of Entomological Research*, **78**: 293-300.
- Vanderplanck F. L. 1949. The classification of *Glossina palpalis*, including the description of new subspecies and hybrids. *Proceedings of the Royal Entomological Society of London*, **18**: 69-77
- Westwood J. O. 1850. Observations on the destructive species of dipterous insects known in Africa under the names of the Tsetse, Zimb, and Tsaltsalva, and on their supposed connexion with the fourth plague of Egypt. *Proceedings of the Zoological Society of London*, Part XVIII, pp. 258-270.

Chapter 4: Prospects for the development of odour baits to control the tsetse flies *Glossina tachinoides* and *G. palpalis s.l.*

This chapter is the manuscript version of the publication by Rayaisse JB, Tirados I, Kaba D, Dewhirst SY, Logan JG, *et al.* (2010) Prospects for the Development of Odour Baits to Control the Tsetse Flies *Glossina tachinoides* and *G. palpalis s.l.*. PLoS Negl Trop Dis 4(3): e632. doi:10.1371/journal.pntd.0000632

Abstract

Field studies were made of the responses of *Glossina palpalis palpalis* in Côte d'Ivoire and *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides* in Burkina Faso to odours from humans, cattle and pigs. Responses were measured either by baiting (1.) biconical traps or (2.) electrocuting black targets with natural host odours. The catch of *G. tachinoides* from traps was significantly enhanced (~5×) by odour from cattle but not humans. In contrast, catches from electric targets showed inconsistent results. For *G. p. gambiensis* both human and cattle odour increased (>2×) the trap catch significantly but not the catch from electric targets. For *G. p. palpalis*, odours from pigs and humans increased (~5×) the numbers of tsetse attracted to the vicinity of the odour source but had little effect on landing or trap-entry. For *G. tachinoides* a blend of POCA (P= 3-*n*-propylphenol; O = 1-octen-3-ol; C = 4-methylphenol; A = acetone) alone or synthetic cattle odour (acetone, 1-octen-3-ol, 4-methylphenol and 3-*n*-propylphenol with carbon dioxide) consistently caught more tsetse than natural cattle odour. For *G. p. gambiensis* POCA consistently increased catches from both traps and targets. For *G. p. palpalis*, doses of carbon dioxide similar to those produced by a host resulted in similar increases in attraction. Baiting traps with super-normal (~500 mg/h) doses of acetone also consistently produced significant but slight (~1.6×) increases in catches of male flies. The results suggest that odour-baited traps and insecticide-treated targets could assist the AU-Pan African Tsetse and Trypanosomiasis Eradication Campaign (PATTEC) in its current efforts to monitor and control Palpalis group tsetse in West Africa. For all three species, only ~50% of the flies attracted to the vicinity of the trap were actually caught by it suggesting that better traps might be developed by an analysis of the visual responses and identification of any semiochemicals involved in short range interaction.

Author Summary

Sleeping sickness, otherwise known as Human African Trypanosomiasis, continues to be a serious threat to human health. This disease, which is transmitted by tsetse flies, normally afflicts poor and isolated communities. No vaccines or prophylactic drugs are available to prevent the disease which is dealt with after it has been contracted using curative drugs which often prove ineffective because of emerging disease resistance in the trypanosomes. These drugs can often have unpleasant and sometimes fatal side effects. Prospects for development of effective vaccines or prophylactic drugs are poor. Killing the tsetse fly vector remains the only method of preventing disease transmission. This can be done at either a local level or regionally. However, a major problem is the cost and logistical difficulty of implementing fly control programmes. To overcome this, we are trying to develop cost-effective insecticide-treated targets by identifying chemicals that will increase the numbers of tsetse that will be lured to a target and killed. Here we show that *G. tachinoides* is significantly attracted to cow

odour, *G. p. gambiensis* to both cow and human odour and *G. p. palpalis* to odours from pigs and humans. This opens the way for further work to identify the attractants present in these natural odours which can be simply and cheaply incorporated into targets to reduce the cost of control.

Introduction

Tsetse flies (Diptera: Glossinidae) infest ~10 million km² of sub-Saharan Africa where they transmit trypanosomes which cause Human African Trypanosomiasis (HAT; also known as sleeping sickness) and African Animal Trypanosomiasis (AAT; also known as Nagana). This complex of diseases has an important impact on health and productivity in sub-Saharan Africa [1,2]. HAT occurs in two forms; “rhodesiense” which is caused by *Trypanosoma brucei rhodesiense* and occurs in eastern and southern Africa; “gambiense” which is caused by *T. b. gambiense* and occurs in western and central Africa. Currently the latter causes ~97% of the total number of reported cases of HAT [1] and is transmitted in West Africa by tsetse of the Palpalis group where the most dangerous species are *G. palpalis* s.l. and *G. tachinoides*.

Means of tackling HAT and AAT differ fundamentally. Control of AAT transmitted by riverine flies is funded and implemented largely by livestock keepers [3] who treat their livestock with trypanocides and insecticides and/or deploy odour-baited traps or targets to control tsetse. Control of HAT is managed and funded by intergovernmental and national agencies and, in the case of the gambiense form, relies mainly on systematic screening, treatment and follow-up of millions of human individuals across the affected region [1]. With a few local exceptions [4] vector control has generally played little role in the management of HAT over the past 80 years. Paradoxically, vector control could contribute significantly to the management of HAT. The relatively low infection rates (<0.1%) and long incubation period (~25 days) of *T. brucei* spp. in the vector [5], compared to the *Trypanosoma* spp. of veterinary importance, means that comparable reductions in the density and life-expectancy of tsetse populations would have a relatively greater effect on HAT than AAT. A cost-effective method of tsetse control that could be implemented by local people would complement the efforts of agencies that support mass screening and treatment and hence improve sustainability. Analyses of the history of efforts against sleeping sickness reveal that sustainable solutions have proved elusive [6,7]. An integrated approach, based on a combination of interventions directed at both tsetse and trypanosomes, may provide a better way forward.

Cost-effective methods of tsetse control exist for the Morsitans group tsetse that spread AAT. Insecticide-treated cattle (or other domesticated animals) are valuable where they are present in sufficient numbers and form a major part of the diet of the flies. Where that is not the case or where cattle are not the major component in the fly diet, as is true in much of the cotton belt of West Africa, insecticide treated targets can be substituted. For Morsitans group flies these can be baited with attractants which mimic the odours of the natural host and they can then be deployed at densities of just 4 targets/km² to eliminate fly populations [8, 9]. However, far higher densities of traps or targets (e.g. 30-50/km²) are required to eliminate *G. palpalis* spp. [10-13]. One reason such high densities of artificial baits are required is that attractants effective against the major tsetse fly vectors of *T. brucei gambiense* in West Africa have not been identified so far.

Ironically, the genesis of modern methods of tsetse control using artificial baits started with the work of Claude Laveissiere and others, working in the HAT foci of Côte d’Ivoire during the 1970s. Their work showed that traps and targets could be used to control HAT [14] but

efforts to improve the performance of traps by baiting them with the attractants effective for Morsitans group flies were not successful (C. Laveissière pers. com). Work on *G. tachinoides* in Burkina Faso [15] showed that natural odour from a human, a pig or a cow increased the catch 1.2x. In subsequent studies, they demonstrated that a combination of 3-methylphenol and octenol doubled the catch of this species of tsetse [15,16]). In the only study of *G. p. palpalis* [17], baiting traps with acetone or octenol, both components of cattle odour, doubled the catch of tsetse. To date however, there has not been a comprehensive analysis of the olfactory responses of the Palpalis group species that spread HAT in West Africa. Accordingly, this paper reports the results of studies of the behavioural responses of *G. p. palpalis* in Côte d'Ivoire and *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides* in Burkina Faso to host odours. These studies aimed to assess the responses of these three species to (i) whole natural odour from pigs, humans and cattle and (ii) synthetic host odours known to be effective against other species of tsetse. Identifying attractants effective for these three species would be particularly timely since the African Union is currently initiating a major tsetse control operation in West Africa under the auspices of its Pan African Tsetse and Trypanosomosis Eradication Campaign (PATTEC).

Material & Methods

Study sites

G. p. palpalis. During the first field season studies were carried out between February and April 2008, when the rainy season begins, at sites near Bingerville (~05.35° N, 3.82°W), ~25 km East of Abidjan. In the second season studies took place between December 2008 and March 2009 (the dry season) at Azaguié (05.67° N, 04.11° W), ~45 km north of Abidjan. Annual rainfall is about 1400 mm. Both areas comprise a mosaic of lagoons, farms where tree crops such as banana, coffee, cocoa, rubber and oil palm are cultivated and the remnants of dense linear forest. Humans, pigs and cattle are present at both sites but wild mammalian hosts are scarce. *G. p. palpalis* is the only species of tsetse present at these sites.

G. tachinoides. Studies were undertaken along the Comoe river at Folonzo (~09° 54' N, 04° 36' W) in the Comoe province of southern Burkina Faso. The area receives an annual rainfall of ~1100mm. Studies took place in the dry season between March to June 2007 and January to May 2008. In general terms fly numbers were highest in the early parts of the dry season. The study site is in a protected area, and the habitat is Sudanese gallery forest. There are several game species in relatively low abundance in the research area, including warthogs (*Phacochoerus aethiopicus*), hippopotamus (*Hippopotamus amphibius*), monitor lizards (*Varanus niloticus*), hartebeest (*Alcelaphus buselaphus*), buffalo (*Syncerus cafer*), Buffon kob (*Kobus kob*), bushbuck (*Tragelaphus scriptus*), waterbuck (*Kobus ellipsiprymnus*) and various species of monkey, snake and crocodile.

G. p. gambiensis. Studies were performed at the same time and sites as for *G. tachinoides*, as the two species occur sympatrically along the southern Comoe river. However the Sudanese type gallery found on the Comoe is more favourable for *G. tachinoides* [18] which occurs at much higher densities than *G. p. gambiensis* [19]. Additional studies were therefore also conducted at Solenzo (~12°14' N, 04°23' W), in the Banwa province of western Burkina Faso along the Mouhoun river. Climatic conditions are similar to those along the Comoe river, with an annual rainfall of 1000mm. Studies were undertaken in the dry season between April - June 2007 and January - June 2008. The habitat along the river, classed as Sudano-Guinean gallery forest [18], is favourable for the two species, and forms a narrow corridor between

agricultural fields and small patches of woodland, but is heavily degraded due to expansion of agricultural fields. Host species in the area include humans, cattle, goats and pigs.

Natural host odours

At each study site, local cattle, pigs or humans were used as sources of natural host odours. The baits were placed in PVC-coated tents ($\sim 3 \times 2 \times 2$ m) from which the air was exhausted at ~ 2000 L/min using a 12 v co-axial fan connected to a flexible PVC-coated tube (0.1 m dia.) with the outlet placed at ground level, ~ 15 m away from the tent, where the various catching devices were placed (Fig. 1 A and B). Studies with *Morsitans* group flies suggest that the effectiveness of odours from particular host species is related to the gross weight of animals used. Accordingly, to match the weights of different host species, tents normally contained a single ox, two men, or three pigs. Given the approximate weight of the cattle (~ 150 kg), humans (~ 75 kg) and pigs (~ 50 kg) used, the gross weight of baits within the tent was 150-200 kg unless reported otherwise. When numbers of animals/humans in the tent varied from this it is noted at the relevant point in the text. In most instances the same animals/humans were used in the tent experiments but for logistical reasons this was not always the case.

Figure 1 A. Biconical trap with flanking E-nets



Figure 1B. E-target with flanking E-nets. The grey pipe leading up to the trap or target carries odour-laden air from a tent, visible in the background, containing live hosts.



Synthetic host odours

In some experiments, studies were made of the responses of tsetse to chemicals known to be present in cattle odour and known to attract some species of tsetse. Chemicals were dispensed following established methods [20,21]. Synthetic cattle odour, as used in these experiments, consisted of carbon dioxide (~1 L/min), acetone (~5 mg/h), racemic 1-octen-3-ol (~0.1 mg/h), 4-methylphenol (~0.4 mg/h) and 3-*n*-propylphenol (~0.04 mg/h). In some experiments chemicals were dispensed individually or as blends, at rates known to be effective for other species of tsetse. For these experiments the doses of 1-octen-3-ol (~0.2 mg/h), 4-methylphenol (~0.4 mg/h) and 3-*n*-propylphenol (~0.02 mg/h) were similar to those used with synthetic cattle odour, but the dose of acetone was increased to ~500 mg/h. In experiments where 3-methylphenol was used the release rate was ~0.4 mg/h. POCA consisted of P= 3-*n*-propylphenol (~0.02 mg/h) ; O = 1-octen-3-ol (~0.2 mg/h) ; C = 4-methylphenol (~0.4 mg/h) ; A = acetone (~500 mg/h). Other blends and doses are as indicated in the text.

Catching devices

Traps. All traps used in the experiments were biconical traps (Fig. 1A) [11,22].

Electrocuting devices. The numbers of tsetse attracted to various baits was assessed using an electric net (E-net) of fine black polyester netting (Quality no. 166, Swisstulle, Nottingham, UK), 1 m tall x 0.5 wide, mounted adjacent to an electric target (E-target) of black cotton cloth, 1 x 1 m (Fig. 1B). Each side of the E-net and E-target was covered with a grid of fine (0.2 mm diameter) copper wires, spaced 8 mm apart. A potential difference of ~40 KVa was created between adjacent wires and tsetse that either landed on the E-target or collided with

the E-net were electrocuted and fell into a tray (3 cm deep) of soapy water on which the E-net and E-target were mounted. The fine netting and electrocuting wires of the electric net are effectively invisible to tsetse [23,24-25] and thus the E-net catches tsetse as they fly around the target. The total catch (i.e. E-target + E-net) provided a relative measure of the numbers of tsetse that are attracted to a target. Host odours may also affect the landing responses of tsetse [20]. Accordingly, the catches from the E-target and E-net were recorded separately to distinguish those flies caught as they landed on the target from those that collided with the net.

Traps with E-nets

Odours that increase the catch of traps may attract more tsetse to the vicinity of the trap and/or increase the proportion of flies that enter and remain within the trap. The number of flies caught by the trap expressed as a proportion of the total flies attracted to the vicinity of the trap is termed the trap's efficiency [26] – exactly how this measured is explained below. To obtain relative measures of (i) attraction and (ii) trap entry independently, experiments were performed with an E-net (0.5 m wide x 1 m high) placed adjacent to the trap (Fig. 1A). Two methods were used with *G. p. gambiensis* to assess whether odours had an effect on trap entry and efficiency. In one experiment the catches from traps operated alone with or without natural host odour were compared with those from traps operated with an adjacent E-net. For this protocol, the mean daily catch from a trap alone (i.e. without an accompanying E-net) was expressed as a proportion of the total catch from a trap + flanking E-net. This proportion is termed 'trap efficiency'. For the second method, catches from the trap and adjacent E-net were recorded separately, to distinguish flies caught in the trap from those that collided with the net and, using these data, we assessed whether odours had a significant effect on the proportion of tsetse that entered the trap – these data provide the 'trap entry response'. Both experiments are necessary since while the second method will detect whether there is an increased propensity for flies to enter a trap, it will underestimate absolute efficiency since the flanking E-net may kill flies that would have otherwise entered the trap. For the remainder of the paper the terms 'trap efficiency' and 'trap entry response' will be used in the sense given above.

Experimental design and analyses

All field experiments were carried out for 4 h between 08:00 h and 12:00 h local time when Palpalis group species are most active [27, 28]. In general, odour baited devices (i.e. traps, E-nets, E-targets and combinations thereof) were compared with an unbaited device over 6-12 days in a series of replicated Latin squares of days x sites x treatments. Sites were always >100 m apart.

The daily catches (n) were normalized and variances homogenized using a $\log_{10}(n+1)$ transformation and subjected to analysis of variance using GLIM4 [29]. To provide a common index of the effect of odours on catches, the detransformed mean catch of tsetse from an odour-baited device was expressed as the proportion of that from an unbaited one. The value is termed the catch index; odours which, say, double or halve the catch from a trap would have catch indices of 2 and 0.5, respectively. In some experiments, the mean catch of tsetse was <1 fly/day and these results were judged to be too low for adequate statistical analysis and are therefore not presented.

Logistic regression was used to analyse the effects of odours on the proportions that landed on a target or entered a trap. The total catch (i.e. target + net, trap + net) per day from each treatment was specified as the binomial denominator and the daily catches from the target or the trap were specified as the y -variable. The significance of changes in deviance was assessed by either χ^2 or, if the data were overdispersed, an F -test following re-scaling [30].

Unless stated otherwise, mean catches are accompanied by the standard error of the difference (SED) between means, and the term 'significant' denotes that the means differ at $P < 0.05$.

Isolation and analysis of host odours

To verify that synthetic host odours were dispensed at rates similar to those produced by natural hosts, measurements were made of the concentration of known compounds in host odours. Carbon dioxide was measured routinely using an infra-red gas analyzer (EGM-1 or EGM-4, PP Systems, Hitchin, UK). For other chemicals, samples were collected from the air exhausted from tents containing cattle ($n = 3$), synthetic cattle odour ($n = 2$) or an empty tent ($n = 3$), concurrent with the behaviour studies. Volatiles were entrained ($1\text{L} / \text{min}^{-1}$) for 4 hours onto a porous polymer (Porapak Q 50/80 (50mg), Supelco, Bellefonte, USA) which was held in glass tubing (5 mm outer diameter) by two plugs of silanised glass wool. After collection, the tubes were heat sealed at the field site in glass ampoules and sent to Rothamsted Research, UK where the volatiles were eluted with redistilled diethyl ether (750 μl). Prior to analysis, the samples were stored at -22°C .

The Porapak Q was conditioned by washing with dichloromethane (4 ml) followed by one washing with redistilled diethyl ether (4 ml) and then heating at 132°C for 2 h under a stream of purified nitrogen ($90\text{ ml} \text{ min}^{-1}$). This conditioning process was repeated three times before use.

Analysis of volatiles. The air entrainment extracts were analyzed by gas chromatography (GC) on both polar (DB-wax, 30 m x 0.32 mm inner diameter x 0.5 μm film thickness) and non-polar (HP-1, 50 m x 0.32 mm inner diameter x 0.5 μm film thickness) capillary columns using a HP5890 GC (Agilent Technologies, UK) fitted with a cool-on-column injector, a deactivated retention gap (1m x 0.53 mm inner diameter) and a flame ionisation detector (FID). The GC oven temperature was maintained at 30°C for 1 min after sample injection and then raised by $5^\circ\text{C} \text{ min}^{-1}$ to 150°C , then $10^\circ\text{C} \text{ min}^{-1}$ to 240°C . The carrier gas was hydrogen. Identification of volatiles within the extracts was confirmed using peak enhancement by co-injection with chemical standards. A multiple-point external standard method was used to quantify each chemical of interest in the extracts.

Chemicals. Chemical standards used in the laboratory were racemic 1-octen-3-ol (98%) and 4-methylphenol (99%) were obtained from Avocado, UK. 3-n-Propylphenol (98%) was obtained from Alfa Aesar, UK. Chemicals used in the field were 1-octen-3-ol from International Flavors and Fragrances (Haverhill, UK); 4- and 3-methylphenols from Sigma-Aldrich (Gillingham, UK); 3-n-propylphenol from Great Lakes Fine Chemicals (Widnes, UK) or Appropriate Applications (Berkhamsted, UK). Acetone was obtained locally (Cobel, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso), and carbon dioxide was kindly donated by BRAKINA (Bobo-Dioulasso, Burkina Faso).

Results

Natural odours

Traps alone. Cattle odour significantly increased the catch of *G. tachinoides* $\sim 5\times$ (Table 1) for both males and females whereas human odour had no significant effect. By contrast, both cattle and human odour significantly increased the catch of *G. p. gambiensis* ~ 2 to $6\times$.

Table 1. Detransformed mean daily catches (transformed mean \pm SED in brackets) of *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* from odour-baited traps expressed as a proportion (Catch Index) of that from an unbaited trap. Indices followed by * or ** are significant at the 0.05 or 0.01 levels respectively.

| Species | Odour | Tsetse/day | | | Catch Index | |
|-------------------------|--------|------------|-------------------------|------------------------|-------------|---------|
| | | Reps | Males | Females/ | Males | Females |
| <i>G. tachinoides</i> | Cattle | 8 | 14.9 (1.20 \pm 0.106) | 7.8 (0.95 \pm 0.146) | 4.8** | 5.1** |
| | Human | 12 | 10.3 (1.05 \pm 0.092) | 3.2 (0.62 \pm 0.118) | 1.4 | 1.1 |
| <i>G. p. gambiensis</i> | Cattle | 10 | 2.6 (0.56 \pm 0.098) | 3.6 (0.66 \pm 0.083) | 2.8* | 6.2* |
| | Human | 10 | 3.2 (0.62 \pm 0.090) | 2.3 (0.52 \pm 0.059) | 4.4** | 2.2** |

Electrocuting devices. Cattle, human and pig odour all increased the catches of *G. tachinoides*, but only cattle odour had a significant effect, albeit not in all experiments (Table 2). There was no evidence that males were more responsive than females and overall the catch increase with cattle odour was 1.6 times compared to 1.2 and 1.3 for human and pig odour, respectively.

For *G. p. gambiensis*, looking at combined catches for males and females, odours from cattle, human and pig increased catches using electrocuting devices 1.5, 1.4 and 1.1 x respectively but the mean catches were not significantly different from the control (Table 2). This is in contrast to traps where both cattle and human odour give statistically significant increases in trap capture (Table 1). Thus while host odours consistently increased the catch from electrocuting devices, there is no compelling evidence that host odours increase the numbers of *G. p. gambiensis* attracted to an odour source. If there is no increase in the number of flies attracted by the odour then a possible explanation for the differences in catches between traps and targets may be that the presence of odour increases trap efficiency.

Table 2. Detransformed mean daily catches (transformed means \pm SED in brackets) of *G. tachinoides*, *G. p. gambiensis* and *G. p. palpalis* from odour-baited electrocuting devices (E-net + E-target) expressed as a proportion (Catch Index) of that from an unbaited E-net + E-target.

| Odour | Site | Tsetse/day | | Catch Index | |
|--|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------|---------|
| | | Males | Females | Males | Females |
| <i>G. tachinoides</i> , Burkina Faso | | | | | |
| Human | Folonzo | 45.5 (1.67 \pm 0.079) | 35.7 (1.57 \pm 0.061) | 1.4 | 1.3 |
| | | 45.5 (1.67 \pm 0.079) | 56.8 (1.76 \pm 0.061) | 1.2 | 1.1 |
| Pig | | 41.4 (1.63 \pm 0.103) | 35.7 (1.57 \pm 0.089) | 1.3 | 1.6 |
| Cattle | | 45.5 (1.67 \pm 0.079) | 56.8 (1.76 \pm 0.061) | 1.9** | 1.3 |
| | | 41.4 (1.63 \pm 0.103) | 35.7 (1.57 \pm 0.089) | 1.7 | 2.1* |
| | | 30.2 (1.49 \pm 0.098) | 25.4 (1.42 \pm 0.088) | 1.8* | 2.4* |
| | | 47.2 (1.68 \pm 0.082) | 83.3 (1.93 \pm 0.076) | 1.1 | 1.2 |
| CO2 (1 L/min) | | 44.2 (1.65 \pm 0.098) | 42.7 (1.64 \pm 0.088) | 1.5 | 1.7* |
| Syn. cattle | | 41.4 (1.63 \pm 0.103) | 35.7 (1.57 \pm 0.089) | 3.7*** | 4.1*** |
| <i>G. p. gambiensis</i> : Burkina Faso | | | | | |
| Human | Folonzo | 3.7 (0.67 \pm 0.099) | 2.1 (0.49 \pm 0.102) | 1.5 | 2.0 |
| | Solenzo | 6.4 (0.87 \pm 0.113) | 8.0 (0.95 \pm 0.094) | 1.4 | 1.4 |
| | | 2.5 (0.55 \pm 0.099) | 5.2 (0.79 \pm 0.088) | 1.1 | 1.4 |
| Pig | Folonzo | 3.0 (0.60 \pm 0.140) | 1.9 (0.46 \pm 0.159) | 1.0 | 0.9 |
| | | 3.7 (0.67 \pm 0.099) | 2.1 (0.49 \pm 0.102) | 1.5 | 1.3 |
| | Solenzo | 6.4 (0.87 \pm 0.113) | 8.0 (0.95 \pm 0.094) | 0.9 | 0.9 |
| | | 2.5 (0.55 \pm 0.099) | 5.2 (0.79 \pm 0.088) | 1.8 | 1.1 |
| Cattle | Folonzo | 3.7 (0.67 \pm 0.099) | 2.1 (0.49 \pm 0.102) | 1.0 | 2.4* |
| | | 3.0 (0.60 \pm 0.140) | 1.9 (0.46 \pm 0.159) | 1.3 | 2.2 |
| | | 2.0 (0.48 \pm 0.160) | 1.4 (0.39 \pm 0.138) | 2.9 | 2.5 |
| | Solenzo | 6.4 (0.87 \pm 0.113) | 8.0 (0.95 \pm 0.094) | 1.0 | 1.2 |
| | | 2.5 (0.55 \pm 0.099) | 5.2 (0.79 \pm 0.088) | 1.1 | 1.2 |
| CO2 (1 L/min) | Folonzo | 1.2 (0.35 \pm 0.160) | 1.0 (0.31 \pm 0.138) | 1.8 | 1.8 |
| POCA | | 3.0 (0.60 \pm 0.140) | 1.9 (0.46 \pm 0.159) | 1.5 | 2.5 |
| <i>G. p. palpalis</i> : Côte d'Ivoire | | | | | |
| Human | Bingerville | 6.3 (0.87 \pm 0.094) | 4.8 (0.76 \pm 0.117) | 1.2 | 1.2 |
| | Azaguié | 5.2 (0.79 \pm 0.092) | 6.7 (0.89 \pm 0.095) | 2.0 | 1.5 |
| Humans (x5) | Azaguié | 2.3 (0.52 \pm 0.082) | 4.0 (0.70 \pm 0.115) | 5.0*** | 1.5 |
| Pig | Bingerville | 5.6 (0.82 \pm 0.118) | 3.4 (0.65 \pm 0.119) | 2.8* | 2.7 |
| | Azaguié | 3.7 (0.67 \pm 0.092) | 8.0 (0.96 \pm 0.095) | 1.4 | 1.8 |
| Pigs (x5) | Azaguié | 1.9 (0.46 \pm 0.082) | 3.5 (0.65 \pm 0.115) | 4.0** | 1.3 |
| Cattle | Bingerville | 4.5 (0.74 \pm 0.108) | 4.9 (0.77 \pm 0.173) | 1.0 | 2.4 |
| | Azaguié | 4.4 (0.73 \pm 0.092) | 6.1 (0.85 \pm 0.095) | 1.7 | 1.4 |
| CO2 (1L/min) | Bingerville | 9.0 (1.00 \pm 0.081) | 13.5 (1.16 \pm 0.104) | 1.4 | 1.8* |
| CO2 (2 L/min) | Azaguié | 2.1 (0.50 \pm 0.082) | 4.3 (0.72 \pm 0.115) | 4.6*** | 1.6 |
| CO2 (2 L/min) | Azaguié | 3.7 (0.67 \pm 0.077) | 5.7 (0.83 \pm 0.095) | 4.3*** | 3.9** |
| CO2 (2 L/min) [†] | Azaguié | 2.4 (0.54 \pm 0.077) | 4.5 (0.74 \pm 0.095) | 2.8** | 3.1** |

All means based on 8 or 12 (Azaguié only) replicates. Indices followed by *, ** or *** are significant at the 0.05, 0.01 or 0.001 levels respectively. Cattle, human and pig odours obtained from a single ox or bull, two humans or three pigs unless indicated otherwise. Syn. Cattle = synthetic cattle odour (carbon dioxide (2 L/min), acetone (~500 mg/h), 1-octen-3-ol (~0.5 mg/h), 4-methylphenol (~1 mg/h), 3-methylphenol (~1 mg/h) and 3*n*-propylphenol (~0.1 mg/h). [†]Carbon dioxide (CO2) dispensed outside. For all other experiments, carbon dioxide was dispensed inside a tent.

For *G. p. palpalis* (Table 2), the results show that odours from five but not two humans and from both three and five pigs significantly increased the catch from electrocuting devices for male *G. p. palpalis*. While there were increases in female catch index for every host experiment performed none of these was statistically significant (Table 2).

Synthetic odours

Synthetic cattle odour. The significant effects of host odours might be due to carbon dioxide and/or chemicals previously shown to be effective for some species of tsetse or additional chemical components (yet to be identified). Measurements of carbon dioxide produced by natural hosts in Burkina Faso and Côte d'Ivoire showed that the mean release rates were 1.3 L/min (range: 0.9-2.2 L/min, $n=26$) for an individual ox, 1.7 L/min (range: 0.4 – 3.2 L/min; $n=25$) for three humans and 1.7 L/min (range: 0.7-3.6 L/min; $n=9$) for three pigs. Accordingly, we assessed the responses of tsetse to doses of carbon dioxide alone, or in combination with 3-n-propylphenol, 1-octen-3-ol, 4-methylphenol and acetone which have been identified previously in natural cattle odour. These chemicals were dispensed at doses similar to those produced by a single ox [31,32]. The results show that for *G. tachinoides* carbon dioxide significantly increased the catch of tsetse from electrocuting devices 1.7× ($P<0.05$ for females only) (Table 2) but not from traps (Table 3). Synthetic cattle odour increased catches ~4× from electrocuting devices ($P<0.001$ for males and females) (Table 2) and POCA significantly increases catches from traps (Tables 3 and 4). Measurements of the concentration of compounds in the synthetic and natural host odours show that the levels of 1-octen-3-ol and phenols were greater in the synthetic cattle odour than the natural (Table 5). These results suggest that for *G. tachinoides*, the response to cattle odour might be explained by the combination of carbon dioxide, 1-octen-3-ol and phenols, and that the greater response to the synthetic cattle odour might be due to the higher doses of 1-octen-3-ol and phenols it contains.

Table3. Detransformed mean daily catches (transformed means and SED in brackets) (trap plus flanking E-net and trap-entry responses (%)) of tsetse for devices baited with natural and synthetic host odours.

| Odour | Mean daily catch | | Trap entry-response±SE (%) | |
|--|------------------|--------------|----------------------------|---------|
| | Males/day | Females/day | Males | Females |
| <i>Experiment 1. G. tachinoides (Folonzo, Burkina Faso)</i> | | | | |
| CO2 | 57.1 (1.76) | 97.2 (1.99) | 38±3.9 | 12±3.1 |
| POCA | 92.1 (1.97)* | 128.7 (2.11) | 30±3.5 | 11±2.8 |
| Cattle | 52.3 (1.73) | 102.3 (2.01) | 38±3.0 | 16±2.7 |
| None | 47.2 (1.68) | 83.3 (1.93) | 33±3.8 | 11±2.7 |
| SED | (0.082) | (0.076) | | |
| Replicates | 8 | | | |
| <i>Experiment 2. G. p. gambiensis (Solenzo, Burkina Faso)</i> | | | | |
| Cattle | 2.8 (0.58) | 6.3 (0.86) | 9±6.4 | 11±4.6 |
| Human | 2.9 (0.59) | 7.1 (0.91) | 15±7.2 | 14±4.5 |
| Pig | 4.5 (0.74) | 5.9 (0.84) | 9±5.5 | 12±5.3 |
| None | 2.5 (0.55) | 5.2 (0.79) | 15±8.2 | 8±4.5 |
| SED | (0.099) | (0.088) | | |
| Replicates | 8 | | | |
| <i>Experiment 3. G. p. gambiensis (Solenzo, Burkina Faso)</i> | | | | |
| POCA | 13.0 (1.10) | 10.5 (1.02) | 35±4.1 | 29±4.9 |
| None | 8.0 (0.90) | 8.2 (0.91) | 27±5.1 | 22±5.8 |
| SED | (0.101) | (0.063) | | |
| Replicates | 10 | | | |
| <i>Experiment 4. G. p. palpalis (Bingerville, Côte d'Ivoire)</i> | | | | |
| Pig | 3.9 (0.69) | 4.5 (0.74) | 8±6.2 | 19±7.0 |
| None | 3.5 (0.66) | 4.1 (0.71) | 16±8.4 | 26±8.4 |
| SED | (0.138) | (1.116) | | |
| Replicates | 8 | | | |
| <i>Experiment 5. G. p. palpalis (Bingerville, Côte d'Ivoire)</i> | | | | |
| Human | 4.8 (0.77) | 5.0 (0.78) | 14±6.3 | 8±3.2 |
| None | 5.3 (0.80) | 5.6 (0.82) | 27±6.7 | 15±4.0 |
| SED | (0.115) | (0.109) | | |
| Replicates | 8 | | | |

Catches accompanied by * differ from the unbaited control trap at the 0.05 level of probability.

Catches of the unbaited devices are accompanied by their respective transformed means±SED shown in brackets.

Table 4. Detransformed mean daily catch (transformed means±SED in brackets) of *G. tachinoides* from traps baited with synthetic host odours. Catch Index is the mean catch of an odour-baited trap expressed as a proportion of that from an unbaited trap. Asterisks indicate that the Catch Index differs from unity at the $P<0.05$ (*) or $P<0.01$ () levels of significance.**

| Odours | | | | | Tsetse/day | | | Catch index | |
|--------|---|----|-----|----|------------|-------------------|-------------------|-------------|---------|
| A | O | 4M | 3nP | 3M | Reps. | Males | Females | Males | Females |
| | | | | | 12 | 13.3 (1.16±0.198) | 5.5 (0.82±0.209) | 2.3 | 3.0 |
| | | | | | 12 | 15.2 (1.21±0.198) | 8.8 (0.99±0.198) | 2.6 | 4.8 |
| | | | | | 8 | 7.7 (0.94±0.191) | 8.0 (0.96±0.191) | 5.8* | 14.2** |
| | | | | | 8 | 3.8 (0.68±0.194) | 5.9 (0.84±0.149) | 5.4 | 7.4** |
| | | | | | 3 | 9.7 (1.03±0.276) | 9.8 (1.03±0.161) | 16.6 | 2.8 |
| | | | | | 12 | 11.2 (1.16±0.198) | 6.6 (0.88±0.198) | 1.9 | 3.6 |
| | | | | | 8 | 1.7 (0.44±0.194) | 5.6 (0.82±0.149) | 2.4 | 7.0** |
| | | | | | 3 | 5.9 (0.84±0.276) | 7.3 (0.92±0.161) | 10.1 | 2.1 |
| | | | | | 12 | 26.2 (1.43±0.194) | 14.7 (1.20±0.183) | 2.8* | 3.2 |
| | | | | | 8 | 4.0 (0.70±0.194) | 6.6 (0.88±0.149) | 5.6 | 8.4** |
| | | | | | 12 | 21.2 (1.35±0.194) | 15.7 (1.22±0.183) | 2.2 | 3.5 |

Key to odours: A=acetone. O=1-octen-3-ol; 3-n-P=3-n-propylphenol; 4-M=4-methylphenol; 3-M=3-methylphenol. Shaded cells indicate chemicals used in each experiment.

Table 5. Release rates of chemicals from natural and synthetic odour sources.

| | Release Rates (mean $\mu\text{g h}^{-1} \pm \text{S.E.}$) | | |
|------------------------|--|----------------|------------------|
| | 1-Octen-3-ol | 4-Methylphenol | 3-n-Propylphenol |
| Bull (Folonzo) | 30.9 ± 0.4 | 55 ± 0.7 | 22.3 ± 2.6 |
| Bull (Solenzo) | 30.5 ± 0.2 | 55.5 ± 1.2 | 16.5 ± 0.1 |
| Synthetic cattle odour | 129 ± 6 | 332 ± 11 | 66 ± 2 |

The results for *G. p. gambiensis* (Table 2) show that carbon dioxide and POCA both increased the catches from electrocuting devices but this was not statistically significant.

For *G. p. palpalis* (Table 2), carbon dioxide dispensed at 1 or 2 L/min increased the electrocuting device catch of male and/or female tsetse significantly in four separate experiments (Table 2). The higher dose produced a greater increase, consistent with the responses to natural host odours. For instance, the odour from two humans increased the electrocuting device catch for male flies <2 fold whereas the odour from five humans increased it five-fold (Table 2). Similarly, carbon dioxide dispensed at 1 L/min or 2 L/min increased the catch by up to 1.8× and 4.6×, respectively. These results suggest that the response of *G. p. palpalis* to host odour might be due to carbon dioxide. Dispensing carbon dioxide within a tent – so its source concentration was comparable to that with natural host odours (~0.1%) – or directly from a pipe connected to the cylinder so that the source concentration was 100% made no clear difference to its effect (Table 2).

Components of ox odour [31,32] dispensed in the absence of carbon dioxide increased the catch of *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis*. For *G. tachinoides* POCA consistently increased the trap catch, albeit the increases were not always statistically significant (Table 4). Pooling the results for the 31 replicates where a POCA-baited trap was compared with an unbaited one showed that POCA increased the catch of males four-fold, from 2.1 (0.50±0.104) males/day to 8.5 (0.98±0.104) males/day and the catch of females increased six-

fold, from 1.3 (0.36±0.114) females/day to 7.5 (0.93±0.114) females/day ($P<0.001$ for difference between means for both sexes). Baiting an E-target with POCA also increased the catch from 30.2 males and 25.4 females without odour to 53.8 and 50.8, respectively, with POCA ($P<0.05$ for both sexes).

When the numbers of *G. p. gambiensis* caught were sufficient to allow robust statistical comparisons (>3 tsetse/trap/day for an unbaited trap), the blends which gave the best results were POCA and POC (i.e. POCA without acetone) (see Table 6). Pooling the results for the 78 replicates where a POCA-baited trap was compared with an unbaited one showed that POCA increased the catch significantly. The catch increased 2.2× for males, from 2.3 (0.51±0.050) males/day to 5.1 (0.78±0.050) males/day and by 1.8× for females increasing from 3.7 females/day (0.67±0.063) without odour to 6.1 (0.85±0.063) females/day with POCA. Baiting an E-target with POCA also increased the detransformed mean daily catch of males from 6.9 to 13.3 ($P<0.001$ for difference between means) and of females from 8.0 to 13.3 ($P<0.01$).

Table 6. Detransformed mean daily catch (transformed means±SED in brackets) of *G. p. gambiensis* from traps baited with synthetic host odours. Catch Index is the mean catch of an odour-baited trap expressed as a proportion of that from an unbaited trap. Asterisks indicate that the Catch Index differs from unity at the $P<0.05$ (*) or $P<0.01$ () levels of significance.**

| A | O | 4M | 3nP | Reps. | Tsetse/day | | Catch index | |
|---|---|----|-----|-------|------------------|------------------|-------------|---------|
| | | | | | Males | Females | Males | Females |
| | | | | 8 | 8.8 (0.99±0.086) | 2.5 (0.55±0.128) | 4.7*** | 1.9 |
| | | | | 10 | 5.9 (0.84±0.130) | 7.9 (0.95±0.140) | 1.9 | 1.4 |
| | | | | 12 | 1.6 (0.41±0.107) | 3.0 (0.60±0.155) | 0.9 | 0.8 |
| | | | | 16 | 6.4 (0.87±0.099) | 5.8 (0.78±0.101) | 2.9** | 1.2 |
| | | | | 12 | 4.8 (0.76±0.154) | 9.4 (1.02±0.110) | 1.9 | 2.5* |
| | | | | 20 | 5.8 (0.84±0.080) | 8.9 (0.99±0.067) | 2.5*** | 2.5*** |
| | | | | 12 | 2.4 (0.53±0.107) | 2.9 (0.60±0.155) | 1.4 | 0.8 |
| | | | | 12 | 8.5 (0.98±0.154) | 8.0 (0.96±0.110) | 3.4* | 2.2* |
| | | | | 12 | 1.8 (0.44±0.107) | 3.5 (0.66±0.155) | 1.1 | 1.0 |
| | | | | 12 | 1.5 (0.39±0.107) | 3.4 (0.65±0.155) | 0.9 | 1.0 |
| | | | | 12 | 1.8 (0.45±0.107) | 3.3 (0.63±0.155) | 1.1 | 0.9 |
| | | | | 12 | 1.3 (0.37±0.142) | 1.0 (0.31±0.122) | 1.3 | 1.6 |
| | | | | 10 | 4.0 (0.70±0.130) | 5.3 (0.80±0.140) | 1.3 | 1.0 |
| | | | | 10 | 3.4 (0.64±0.130) | 6.5 (0.88±0.140) | 1.1 | 1.2 |
| | | | | 10 | 5.8 (0.83±0.130) | 8.6 (0.98±0.140) | 1.9 | 1.5 |

Key to odours: A=acetone. O=1-octen-3-ol; 3nP=3-n-propylphenol; 4M=4-methylphenol. Cells in grey show the chemicals that were used in each experiment

For *G. p. palpalis* (Table 7), blends containing acetone or 1-octen-3-ol increased the catch slightly (~1.5×) and significantly in some experiments.

Table 7. Detransformed mean daily catch (transformed means \pm SED in brackets) of *G. p. palpalis* from traps baited with synthetic host odours. Catch Index is the mean catch of an odour-baited trap expressed as a proportion of that from an unbaited trap. Asterisks indicate that the Catch Index differs from unity at the $P<0.05$ (*) level of significance.

| A | O | 4M | 3nP | Site | Tsetse/day | | Catch Index | | |
|---|---|----|-----|-------------|------------|------------------------|------------------------|-------|---------|
| | | | | | Reps. | Males | Females | Males | Females |
| | | | | Azagué | 36 | 4.2 (0.72 \pm 0.052) | 4.8 (0.77 \pm 0.052) | 1.6* | 1.3 |
| | | | | Bingerville | 40 | 3.8 (0.68 \pm 0.050) | 6.7 (0.89 \pm 0.065) | 1.5* | 1.5* |
| | | | | Azagué | 36 | 2.5 (0.55 \pm 0.052) | 3.9 (0.69 \pm 0.052) | 1.0 | 1.0 |
| | | | | Bingerville | 40 | 4.1 (0.71 \pm 0.050) | 5.3 (0.80 \pm 0.065) | 1.6* | 1.2 |
| | | | | Azagué | 36 | 4.3 (0.72 \pm 0.052) | 5.0 (0.78 \pm 0.052) | 1.6* | 1.3 |
| | | | | Bingerville | 40 | 3.7 (0.67 \pm 0.050) | 3.9 (0.69 \pm 0.065) | 1.4* | 0.9 |
| | | | | Azagué | 36 | 3.2 (0.63 \pm 0.052) | 4.1 (0.71 \pm 0.052) | 1.2 | 1.1 |
| | | | | Azagué | 36 | 2.6 (0.56 \pm 0.052) | 4.2 (0.72 \pm 0.052) | 1.0 | 1.1 |

Key to odours: A=acetone. O=1-octen-3-ol; 3nP=3-n-propylphenol; 4M=4-methylphenol. Cells in grey show the chemicals that were used in each experiment

Landing responses

For the 35 separate experiments listed in Table 2 (*G. tachinoides*, 9 experiments; *G. p. gambiensis*, 14 experiments; *G. p. palpalis*, 12 experiments) we also assessed the landing responses of tsetse exposed to natural or synthetic odours. Out of these, only one experiment, involving *G. tachinoides* responding to human and cattle odour, showed a significant effect (Fig. 2A). However, in other experiments, these odours did not increase the landing response of *G. tachinoides*. Similarly baiting an E-target+E-net with POCA had no significant effect on landing response. We therefore conclude that natural host odours have no clear or consistent effect on the landing responses of *G. tachinoides*, *G. p. gambiensis* or *G. p. palpalis*. Illustrative examples of the general landing responses from six experiments (i.e., two for each species) are shown in Fig. 2. For *G. tachinoides* and *G. p. palpalis*, males generally showed a stronger landing response than females but this difference was not apparent for *G. p. gambiensis*.

Trap efficiency

Natural host odours had no significant effect on the trap entry response of *G. tachinoides*, *G. p. gambiensis* or *G. p. palpalis* (Table 3). The results show that for *G. tachinoides* there was a marked difference in the trap entry response of males and females, with 30-38% of males being caught in the trap compared to only 11-16% of females (Table 3, experiment 1). For *G. p. gambiensis*, the percentage of males and females caught in a trap was variable, ranging from 8-15% in one experiment (Table 3, experiment 2) to 22-35% in another (Table 3, experiment 3). The percentage of *G. p. palpalis* caught from a trap was generally low, ranging between 8 and 27% (Table 3, experiments 4 & 5). While host odours did not have any effect on trap entry, the results do show that the total catch (trap+flanking net) of *G. tachinoides* was increased significantly by the POCA blend (Table 3, experiment 1).

For *G. p. gambiensis*, host odours had no significant effect on total catch or trap entry response (Table 3, experiments 2 and 3). However, the data do suggest that both are increased; analysing the pooled catch of males and females did show that the catch increased significantly (from 16 to 23 tsetse/day, $P < 0.05$) and the trap efficiencies increased for both sexes and was significant ($P = 0.05$) for males. The absence of any significant effects of host odours on attraction or trap efficiency for *G. p. gambiensis* may be an experimental artefact: the E-net may have killed circling flies that would have eventually entered the trap. Accordingly, we also assessed trap efficiency for *G. p. gambiensis* using the alternative protocol of comparing catches from traps with or without a flanking E-net in the presence or absence of cattle odour. The result showed that host odour had no significant effect, but placing an E-net adjacent to a trap increased the detransformed mean daily catch of both sexes significantly from 2 males and 4 females to 10 males and 13 females. Thus the catch from the trap alone was just 20-25% of that from the trap+E-net. These percentages are broadly consistent with the estimates of efficiency which are collected when using data from a trap+flanking E-net alone. Taken together, the results suggest that the trap entry response is not modulated by natural cattle odour but that total number of flies attracted to the vicinity of the trap is.

Discussion

We report here that baiting various catching devices with natural or synthetic odours increases catches of the Palpalis group flies, *G. tachinoides*, *G. p. gambiensis* and *G. p. palpalis*. This is the first comprehensive report of odour attraction for *G. palpalis* spp. and confirms the earlier finding for *G. tachinoides* [27,33]. This gives new promise for the use of odour-baited control devices against Palpalis group flies that transmit *gambiense* sleeping sickness in West Africa.

Responses of *G. tachinoides* to natural and synthetic host odours

The large number of experiments done and the high numbers of flies caught provide firm evidence that *G. tachinoides* showed consistent increases in catch index of around 2× in response to natural cattle odour, confirming the previous findings [15,27]. We obtained slightly higher increases than reported in their studies, particular with traps where cattle odour increased our catches ~5×. Synthetic cattle odour (defined in Materials and Methods), which contains known kairomones for Morsitans group tsetse, produced greater (~4×) increases in trap catch (Table 4) than given by the natural cattle odour (Table 1). The greater catch seen with synthetic cattle odour may be because (i) the release rate was ~5× greater than that in the natural (determined from Table 5) or (ii) natural ox odour produces chemicals that 'repel' a proportion of the flies. Human and pig odours were not effective with *G. tachinoides* suggesting that the effective kairomones are found only in cattle odours or that humans and pigs are producing repellents over-riding any kairomones in their odour [34,35].

Various combinations of acetone, 1-octen-3-ol, 3-*n*-propylphenol and 4-methylphenol are used to increase the performance of traps and insecticide-treated targets to monitor and control various Morsitans- and Fusca-group species of tsetse - see review [36]. The results confirm those of earlier studies [15,37] showing that the POCA blend, originally developed for use against *G. pallidipes* [38] is also effective against *G. tachinoides*. Our data suggests that the incorporation in the blend of 4-methylphenol is about twice as effective as 3-methylphenol (Table 4). Our results combined with those of earlier studies [16,37,39], suggest a blend of POC (i.e. without acetone) may be equally effective, producing increases comparable to natural cattle odour. This point is of practical importance as the large volumes of acetone required makes its use in long running control operations particularly difficult.

Responses of G. palpalis spp. to natural and synthetic host odours

Natural odours from both cattle and humans increased the catch of *G. p. gambiensis* from traps. But our extensive studies on the effect of baiting electrocuting devices with natural host odours did not show consistently significant effects. For example, for *G. p. palpalis*, natural odours from five pigs or five humans increased the catch from electrocuting devices but studies with lower numbers of hosts were ineffective. These data for traps and electrocuting devices suggest there is an interaction between odours and visual responses to the catching device. At least part of the difficulty with these studies is caused by the low densities of tsetse – a widespread problem which hampers field studies of *G. palpalis* [40]. These low densities require that very large numbers of replicates are performed for robust statistical analysis to be possible. As a consequence, the absence of statistically robust effects has perhaps led to the erroneous conclusion that *G. palpalis* spp. are unresponsive to host odours. In the present study, experiments conducted at times or places where *G. p. gambiensis* were still low but more abundant than usual did show that baiting traps with natural odours and/or synthetic blends, particularly POCA and POC significantly increased the catches. This is to our knowledge the first published report of improvement in catches using olfactory attractants for this species. Further studies of the responses of *G. palpalis* spp. are clearly needed to confirm these findings and to identify cost-effective doses and blends.

Landing responses and trap efficiencies

Our results suggest that the three species exhibit a relatively high landing response (40-50%) which was not modulated by natural host odours. However, exhausting volatiles from the tent containing hosts through a long PVC-coated tube to the catching devices could have resulted in a reduced number and concentration of compounds with low volatility compared with those emitted by the host. Compounds with low volatility may be important cues that induce tsetse landing response and this may have caused the lack of difference in landing response to odours from different hosts and control devices. For example, Warnes [41] demonstrated that electrified targets impregnated with ox skin secretions (sebum) caught more flies than targets without sebum. The landing response of female *G. tachinoides* was lower than that of males, confirming previous observations for this species [37] and *G. p. palpalis* showed a similar trend. This was not the case for *G. p. gambiensis* where both sexes show similar responses. It should be noted that these responses are all to a single size of target. Laveissière *et al.* [40] working on *G. p. palpalis* in Côte d'Ivoire, suggested landing response of males and females varied with changing surface area with more males and less females captured as the black surface area increased.

The present results suggest that improvements could be made in the efficiency of traps for Palpalis group tsetse since only 10-30% of tsetse entered a trap. Thus while the biconical trap is the most widely used trap for control and monitoring riverine tsetse in West Africa most of the flies that are attracted to it do not enter immediately [40]. For *G. p. gambiensis*, odours

were most effective when delivered with traps, suggesting the importance of visual responses as well as responses to odours. Thus analysis of visual-olfactory interactions might be the key to improving trap efficiency.

Seeing, smelling, or both?

For both *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides*, the overall increases in catch index, landing and entry responses were relatively small in comparison to those found with Morsitans group flies [42,43]. In the Palpalis group flies studied here *G. tachinoides* showed higher responses to natural ox odours than *G. p. gambiensis*, and also higher responses to POCA. This is consistent with previous observations that this species' behaviour and ecology is intermediate between the savannah-dwelling Morsitans group flies and the more riverine Palpalis group species such as *G. palpalis* [4]. The smaller increases in catch indices compared to Morsitans group flies that have been observed here for *G. palpalis* spp. also apply to the other Palpalis group flies *G. fuscipes fuscipes* and *G. f. quanzensis* [44]. There is a pressing need to understand why the odours investigated here are seemingly less effective for Palpalis group tsetse. Is the poor response because they rely predominantly on visual cues or because they use odours in a different way to Morsitans group flies? It has been argued that dense vegetation could be an obstacle to the dispersion of the odour plume [45]. Indeed the riverine species that were studied here (*G. tachinoides* and *G. p. gambiensis*) live in habitats that differ considerably from the habitats where detailed studies on olfactory cues and host location in savannah tsetse have been conducted. Here their habitats are the linear forests bordering the Comoe or Mouhoun rivers. In recent years, these habitats have become highly fragmented due to human pressure. Hence in these linear and/or fragmented habitats, wind-borne odours may simply be carried to places where few tsetse are found [45]. Such an explanation would not explain the results for *G. p. palpalis* which is extensively distributed in humid and degraded forest habitats of southern Côte d'Ivoire which are not linear. Although dense vegetation may be an obstacle to the dispersal of volatile chemicals, it is unlikely that this will completely obstruct their movement through such an environment. For example, it has been demonstrated that volatile chemicals release by plants in the rhizosphere can disperse through the soil – an extremely dense environment – and are detected by neighboring plants and nematodes [46-49].

Another possible explanation for the variability in the responses of *G. palpalis* spp. to host odours in the present and earlier studies (eg, [40]) may center on population structure. There is evidence that in the fragmented habitats typical of populations of *G. p. palpalis* and *G. p. gambiensis* the populations may consist of several, genetically-differentiated subunits [50,51], and it has been suggested that these sympatric demes may respond differentially to a given stimulus [52]. Genetically-differentiated demes are associated with trypanosomes from particular host species. One possible explanation for this is that these demes feed preferentially on particular host species. Consequently, the low response to, say, cattle odour may be because only tsetse with a preference for feeding on cattle may respond strongly to cattle odours. Other studies have already reported intraspecific variations in olfactory responses for allopatric populations (e.g. *G. pallidipes* - [53]).

The present results, combined with the earlier studies [15, 44] contribute to the emerging view that Palpalis-group flies do not show the marked response to host odours exhibited by Morsitans-group tsetse. The relatively low (~2×) increase in catch observed across a range of habitats suggests that the difference between the Palpalis- and Morsitans-groups is due to their innate host-oriented behavior rather than their particular habitats. We now need to understand better how the Palpalis-group species locate their hosts so that we have a rational basis for developing more cost-effective baits.

Prospects for the use of olfactory attractants to control Palpalis group tsetse flies

Despite being lower than for Morsitans group flies, the increases in tsetse catches reported here promise improvements for Palpalis group tsetse control with respect to both human and animal trypanosomiasis. There are immediate applications of the use of POCA to improve trapping and control. Indeed, the AU-supported PATTEC program in Burkina Faso has already begun to use this blend for pre-control entomological surveys (I Sidibe, PATTEC coordinator, Burkina Faso, pers. comm.). It is our intention to investigate in more detail the use of POCA blends and individual compounds to enhance control of Palpalis group flies. Regarding costs, we are undertaking further experiments to determine if more cost-effective blends (e.g. OC) can be used. In preliminary experiments this blend has been shown to double the catches of *G. p. palpalis* in Liberia [17] and to double catches of *G. tachinoides* in Burkina Faso [16,37]. Present results suggest that even the relatively modest 2-4x increases in catch indicated by current results could halve the densities of targets required to control Palpalis group tsetse from the current ~30-50 targets/km² [54] with consequent significant economic and logistical benefits. Perhaps more importantly in the longer term, the present results show that there is much for improvement in the design and performance of trapping devices. In particular, there is a need to analyse the visual and olfactory responses of riverine species to their reptilian hosts, particularly monitor lizards and crocodiles which constitute an important part of the diet of *G. palpalis* and *G. tachinoides* [28, 55-57].

Acknowledgements

We thank Wilfried Yoni, Issiaka Barry, Adama Sana and Boureima Sanou in Burkina Faso and Fabien Dofini, Alain Koffi, Bamoro Coulibaly in Côte d'Ivoire for field assistance.

References

1. Simarro P. P., Jannin J., Cattand P. 2008. Eliminating human African trypanosomiasis: where do we stand and what comes next. *Plos Medicine*, **5**(2): e55.
doi:10.1371/journal.pmed.0050055.
2. Kabayo J. P. 2002. Aiming to eliminate tsetse from Africa. *Trends in Parasitology*, **18**: 473-475.
3. Kamuanga M., Swallow B.M., Sigue H., Bauer B. 2001. Evaluating contingent and actual contributions to a local public good: Tsetse control in the Yale agro-pastoral zone, Burkina Faso. *Ecological Economics*, **39**: 115-130.
4. Laveissière C., Garcia A., Sané B. 2003. Lutte contre la maladie du sommeil et soins de santé primaire. 243pp.
5. Koffi M., De Meeus T., Bucheton B., Solano P., Camara M., *et al.* 2008. Population genetics of *Trypanosoma brucei gambiense*, the agent of sleeping sickness in Western Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. U S A.
6. Courtin F., Jammoneau V., Duvallet G., Garcia A., Coulibaly B., *et al.* 2008. Sleeping sickness in West Africa (1906-2006): changes in spatial repartition and lessons from the past. *Tropical Medicine and International Health*, **13**: 334-344.
7. Maudlin I. 2006 African trypanosomiasis. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, **100**: 679-701.
8. Vale G. A., Lovemore D. F., Flint S., Cockbill G. F. 1988. Odour-baited targets to control tsetse flies, *Glossina* spp. (Diptera, Glossinidae), in Zimbabwe. *Bulletin of Entomological Research*, **78**: 31-49.
9. Willemsse L. 1991. A trial of odour baited targets to control the tsetse fly, *Glossina morsitans centralis* (Diptera: Glossinidae) in west Zambia. *Bulletin of Entomological Research*, **81**: 351-357.

10. Challier A., Laveissiere C. 1973. Un nouveau piège pour la capture des glossines (Glossina: Diptera, Muscidae): description et essais sur le terrain. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **11**: 251-262.
11. Challier A., Eyraud M., Lafaye A., Laveissiere C. 1977. Amélioration du rendement du piège biconique pour glossines (Diptera, Glossinidae) par l'emploi d'un cône inférieur bleu. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **15**: 283-286.
12. Laveissiere C., Grebaut P. 1990. Research on Tsetse-Fly Traps (Diptera, Glossinidae) - Development of an Economic-Model, the Vavoua Trap. *Tropical Medicine and Parasitology*, **41**: 185-192.
13. Cuisance D., Politzar H. 1983. Study on the efficiency of barriers of screens and biconical traps impregnated with DDT, deltamethrin and dieldrin against *Glossina palpalis gambiensis* and *Glossina tachinoides*. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **36**: 159-168.
14. Laveissière C., Penchenier L. 2005. Manuel de lutte contre la maladie du sommeil. Paris, France: IRD Editions. 366 p.
15. Merot P., Filledier J., Mulato C. 1988. Pouvoir attractif, pour *Glossina tachinoides*, de produits chimiques isolés des odeurs animales. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **41**: 79-85.
16. Filledier J., Merot P. 1989. Pouvoir attractif de l'association m-cresol, 1-octen-3-ol dans un type de diffuseur pratique pour *Glossina tachinoides* au Burkina Faso. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **42**: 541-544.
17. Cheke R. A., Garms R. 1988. Trials of compounds to enhance trap catches of *Glossina palpalis palpalis* in Liberia. *Medical and Veterinary Entomology*, **2**: 199-200.
18. Bouyer J., Guerrini L., Cesar J., de la Rocque S., Cuisance D. 2005. A phyto-sociological analysis of the distribution of riverine tsetse flies in Burkina Faso. *Medical and Veterinary Entomology*, **19**: 372-378.
19. Rayaisse J. B., Courtin F., Akoundjin M., Cesar J., Solano P. 2009. Influence of anthropisation on local vegetation and tsetse abundance in southern Burkina Faso. *Parasite*, **16**: 21-28.
20. Vale G. A., Hall D. R. 1985. The role of 1-octen-3-ol, acetone and carbon dioxide in the attraction of tsetse flies, *Glossina* spp. (Diptera: Glossinidae), to ox odour. *Bulletin of Entomological Research*, **75**: 209-217.
21. Torr S. J., Hall D. R., Phelps R. J., Vale G. A. 1997. Methods for dispensing odour attractants for tsetse flies (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **87**: 299-311.
22. Challier A., Eyraud M., Lafaye A., Laveissiere C. 1977. Amélioration du rendement piège biconique pour glossines (Diptera: Glossinidae) par l'emploi d'un cône inférieur bleu. *Cahiers ORSTOM. Séries Entomologie Médicale et Parasitologie*, **15**: 283-286.
23. Vale G. A. 1974. New field methods for studying the response of tsetse flies (Diptera, Glossinidae) to hosts. *Bulletin of Entomological Research*, **64**: 199-208.
24. Packer M. J., Brady J. 1990. Efficiency of electric nets as sampling devices for tsetse flies (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **80**: 43-47.
25. Brady J., Griffiths N. 1993. Upwind flight responses of tsetse-flies (*Glossina* spp) (Diptera, Glossinidae) to acetone, octenol and phenols in nature - a video study. *Bulletin of Entomological Research*, **83**: 329-333.
26. Vale G. A., Hargrove J. W. 1979. Methods of studying the efficiency of traps for tsetse flies (Diptera: Glossinidae) and other insects. *Bulletin of Entomological Research*, **69**: 183-193.
27. Filledier J., Duvallet G., Merot P. 1988. Comparison of the attractive power of Zebu and Baoule cattle for *Glossina tachinoides* Westwood, 1850 and *Glossina morsitans morsitans* Newstead, 1910 in Sudano-Guinean savanna, Burkina Faso. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **41**: 191-196.
28. Challier A. 1976. Ecology of *Glossina palpalis gambiensis* Vanderplank, 1949. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **29**: 131-140.
29. Francis B., Green M., Payne C. 1993. The GLIM System (Release 4 Manual). Oxford: Clarendon Press. 821 p.
30. Crawley M. 1993. GLIM for Ecologists. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

31. Torr S. J., Mangwiro T. N. C., Hall D. R. 2006. The effects of host physiology on the attraction of tsetse (Diptera: Glossinidae) and Stomoxys (Diptera: Muscidae) to cattle. *Bulletin of Entomological Research*, **96**: 71-84.
32. Torr S. J., Hall D. R., Smith J. L. 1995. Responses of Tsetse-Flies (Diptera: Glossinidae) to Natural and Synthetic Ox Odors. *Bulletin of Entomological Research*, **85**: 157-166.
33. Merot P., Galey J. B., Politzar H., Filledier J., Mitteault A. 1986. Attractive power of the odor of hosts for *Glossina tachinoides* in the Sudan-Guinea zone (Burkina Faso). *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **39**: 345-350.
34. Vale G. A. 1974. The response of tsetse flies (Diptera: Glossinidae) to mobile and stationary baits. *Bulletin of Entomological Research*, **64**: 545-588.
35. Vale G. A., 1979. Field responses of tsetse flies (Diptera: Glossinidae) to odors of men, lactic-acid and carbon-dioxide. *Bulletin of Entomological Research*, **69**: 459-467.
36. Gibson G., Torr S. J. 1999. Visual and olfactory responses of haematophagous Diptera to host stimuli. *Medical and Veterinary Entomology*, **13**: 2-23.
37. Amsler S., Filledier J., Millogo R. 1994. Attractifs olfactifs pour la capture de *Glossina tachinoides* et *Glossina morsitans submorsitans* (Diptera : Glossinidae) au Burkina Faso. Effet de la position du sachet diffuseur dans le piège biconique Challier-Laveissière. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **47**: 301-311.
38. Vale G. A., Hall D. R., Gough A. J. E. 1988. The olfactory responses of tsetse flies, *Glossina* spp. (Diptera: Glossinidae), to phenols and urine in the field. *Bulletin of Entomological Research*, **78**: 293-300.
39. Spath J. 1995. Olfactory attractants for West African tsetse flies, *Glossina* spp (Diptera: Glossinidae). *Tropical Medicine and Parasitology*, **46**: 253-257.
40. Laveissiere C., Couret D., Grebaut P. 1987. Recherche sur les écrans pour la lutte contre les glossines en région forestière de Côte d'Ivoire. Mise au point d'un nouvel écran. *Cahiers O R S T O M. Serie Entomologie Medicale et Parasitologie*, **25** : 145- 164.
41. Warnes M. L. 1995. Field studies on the effect of cattle secretion on the behaviour of tsetse. *Medical and Veterinary Entomology*, **9**: 284-288.
42. Vale G. A. 1974. Responses of tsetse flies (Diptera, Glossinidae) to mobile and stationary baits. *Bulletin of Entomological Research*, **64**: 545-588.
43. Hargrove J. W., Holloway M. T. P., Vale G. A., Gough A. J. E., Hall D. R. 1995. Catches of tsetse (*Glossina* spp) (Diptera, Glossinidae) from traps and targets baited with large Ddoses of natural and synthetic host odor. *Bulletin of Entomological Research*, **85**: 215-227.
44. Omolo M. O., Hassanali A., Mpiana S., Esterhuizen J., Lindh J., *et al.* 2009. Prospects for developing odour baits to control *Glossina fuscipes* spp., the major vector of Human African Trypanosomiasis. *Plos Neglected Tropical Diseases*, **3**: e435.
45. Mohamed-Ahmed M. M., Mihok S. 1999. Responses of *Glossina fuscipes fuscipes* (Diptera: Glossinidae) and other Diptera to carbon dioxide in linear and dense forests. *Bulletin of Entomological Research*, **89**: 177-184.
46. Chamberlain K., Guerrieri E., Pennacchio F., Pettersson J., Pickett J. A., *et al.* 2001. Can aphid-induced plant signals be transmitted aurally and through the rhizosphere? *Biochemical Systematics and Ecology*, **29**: 1063-1074.
47. Khan Z. R., Pickett J. A., Hassanali A., Hooper A. M., Midega C. A. O. 2008. Desmodium species and associated biochemical traits for controlling *Striga* species: present and future prospects. *Weed Research (Oxford)*, **48**: 302-306.
48. Hiltpold I., Turlings T. C. J. 2008. Belowground chemical signaling in maize: When simplicity rhymes with efficiency. *Journal of Chemical Ecology*, **34**: 628-635.
49. Rasmann S., Turlings T. C. J. 2008. First insights into specificity of belowground tritrophic interactions. *Oikos*, **117**: 362-369.
50. Solano P., de La Rocque S., de Meeus T., Cuny G., Duvallet G. *et al.* 2000. Microsatellite DNA markers reveal genetic differentiation among populations of *Glossina palpalis gambiensis* collected in the agro-pastoral zone of Sideradougou, Burkina Faso. *Insect Molecular Biology*, **9**: 433-439.

51. Ravel S., de Meeus T., Dujardin J. P., Zeze D. G., Gooding R. H., *et al.* 2007. The tsetse fly *Glossina palpalis palpalis* is composed of several genetically differentiated small populations in the sleeping sickness focus of Bonon, Cote d'Ivoire. *Infection Genetics and Evolution*, **7**: 116-125.
52. Torr S., Solano P. 2009. Olfaction in tsetse hosts interactions. In: Knols B, Takken W, editors. Olfaction in vector hosts interactions: Wageningen University.
53. Torr S. J., Parker A. G., Leighbrowne G. 1989. The responses of *Glossina pallidipes* Austen (Diptera: Glossinidae) to odor-baited traps and targets in Somalia. *Bulletin of Entomological Research*, **79**: 99-108.
54. Politzar H., Cuisance D. 1984. An integrated campaign against riverine tsetse, *Glossina palpalis gambiensis* and *Glossina tachinoides* by trapping and the release of sterile males. *Insect Science and its Application*, **5**: 439-442.
55. Kupper W., Staak C., Krober T., Spath J. 1990. Natural hosts of *Glossina tachinoides* (Diptera, Glossinidae) in Northern Ivory Coast. *Tropical Medicine and Parasitology*, **41**: 217-218.
56. Clausen P. H., Adeyemi I., Bauer B., Breloeer M., Salchow F., *et al.* 1998. Host preferences of tsetse (Diptera: Glossinidae) based on bloodmeal identifications. *Medical and Veterinary Entomology*, **12**: 169-180.
57. Spath J. 2000. Feeding patterns of three sympatric tsetse species (*Glossina* spp.) (Diptera : Glossinidae) in the preforest zone of Cote d'Ivoire. *Acta Tropica*, **75**: 109-118.

Chapter 5: Field trials with candidate attractants

Abstract

To explore whether any as yet unidentified compounds in natural host odour that could act as tsetse fly attractants, bull odour was collected at Folonzo and Montionkuy, Burkina Faso, using a porous polymer and compounds inducing electroantennogram (EAG) responses from *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* antennae were identified using gas chromatography linked EAG. These compounds were then tested in the field for their ability to attract tsetse flies when released from dispensers on biconical traps. Apart from the already known as tsetse attractants, 3- and 4-methylphenol, none of the newly tested candidate host odour products significantly improved *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* catches by the biconical trap. However, 3-ethylacetophenone and benzaldehyde both increased catches of *G. p. gambiensis* by 2-fold when released at 10 times the natural dose, and 6-methyl-5-hepten-3-one by 1.58 fold when released at the natural dose, but all these increases were not significant. The highest increase recorded for *G. tachinoides* was 1.47 with 3-ethylacetophenone released at 10 times the natural rate. At Folonzo, heptanal, undecanal, and biphenyl at both the natural and 10 times the natural release rate decreased trap catches of *G. tachinoides*. Octanal, nonanal and decanal, in addition to the components just cited for *G. tachinoides*, also decreased catches of *G. p. gambiensis*. This could suggest that these chemicals, predominantly aldehydes, may constitute candidate repellents for tsetse flies.

Keywords: host, odour, attractants, repellents, *G. tachinoides*, *G. p. gambiensis*

1. Introduction

These experiments are a continuation of the ones undertaken in the chapter 4, where odour samples were collected from the different hosts kept in the tents during the trials on natural odours.

An ox typically produces phenol, 3-methylphenol, 4-methylphenol, 3-ethylphenol, 4-ethylphenol, 3 and 4-propylphenol, 1-octen-3-ol, carbon dioxide, acetone and butanone. These components are breath constituents (carbon dioxide, acetone and 1-octen-3-ol., Hall *et al.*, 1984; Vale and Hall, 1985), and phenolic microbial breakdown products (particularly, 4-methylphenol and 3-n-propylphenol) of host skin secretions and urine (Hassanali *et al.*, 1986; Owaga *et al.*, 1988, Vale *et al.*, 1988a). From all these compounds, only phenol, 3 and 4-methylphenol and CO₂ already known as tsetse flies attractants were detected in ox odours extracts. Therefore, when trying to compare natural ox odours to synthetic ox blend (consisting of blends of identified attractants dispensed at the doses naturally present in ox odour), it appears that natural odour attracted consistently more tsetse than did synthetic odour (Torr *et al.*, 1995). So clearly, synthetic ox odour is not an exact mimic of the natural odour and this is either because natural odour contains additional unidentified attractants than the synthetic, or because the doses used in synthetic odour differ from that naturally released. The main purpose of the current work was to explore whether there are as yet unidentified compounds in natural host odour that could act as tsetse fly attractants.

2. Materials and Methods

2.1. Chemicals isolation

The isolation and the analysis of volatiles were done in Rothamsted Research, UK following the methodology described in Rayaisse *et al.*, 2010 (Chapter 4). The choice of analysing bovid odours was based on the results obtained in the field with natural odours, where there was a clear response by both *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* to host odours (catches indices > 2). Chemicals in the extracts that induce responses upon stimulation of antennal receptor cells in tsetse flies were identified using electroantennogram (EAG) recordings linked to gas chromatography (GC-EAG; Arn *et al.*, 1975). Recordings were made from flies (*G. tachinoides* and *G. p. gambiensis*) from the insectarium at LRCT IRD-CIRAD, Montpellier-Baillarguet/France that had been sent to Rothamsted Research. EAG-active constituents of host odour extracts were identified using gas chromatography-linked mass spectrometry (GC-MS) and chromatographic comparison with standard samples (Rothamsted Research, personal communication). Flies were used during the first week after emergence (1-7 days old) and unfed (feeding success rate was extremely low so had to be abandoned). They were kept in plastic boxes, either in a tray with a Petri dish of water and covered with a sheet of plastic to maintain humidity, or in plastic-lined cages, again with a dish of water, in a room with a 16-hour day at 27 °C.

2.2. Field trials

Candidate host odour attractants were tested at the sites from where they were collected, i.e. candidate attractants from a bull (*Bos taurus*) were tested at Folonzo (09°54' N, 04° 36' W) and those from another bull (*Bos indicus*) were tested at Solenzo (~12°14' N, 04°23' W). To estimate the effect of the concentration of chemicals on tsetse fly catches, trials were made using chemicals released at natural doses compared to chemicals released at 10 times the natural dose with Chalier Laveissière biconical trap. For each series of experiments a positive control (POCA identified as the best blend of attractants in previous trials) and a negative control (the unbaited biconical trap) were also included. POCA is a 1:4:8 mixture of 3-n-propylphenol, 1-octen-3-ol and 4-methylphenol plus acetone (IAEA, 2003). The mixture (2 ml) was dispensed from 5 cm x 5 cm polyethylene sachets with 0.15mm thick wall as supplied from Appropriate Application (Berkhamsted/UK). Acetone was dispensed from half-filled 60ml brown glass bottles capped by a polypropylene lid with a 2mm hole in it. 1-Octen-3-ol was from International Flavors and Fragrances (Haverhill, UK), 4-methylphenol from Sigma-Aldrich (Gillingham, UK), 3-n-propylphenol from Great Lakes Fine Chemicals (Widnes, UK) or Appropriate Applications (Berkhamsted, UK) and acetone was obtained locally (Cobel, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso).

The different candidate attractants were released individually by diffusion from several different types of lures (Plate 1) listed hereunder (see also Tables 1 and 2):

- a) 1000 bag: 500 µl of chemical added to cellulose sponge (3 mm thick, Code 0032 6865, J Sainsbury plc) and heat-sealed into a 1000 gauge (0.25 mm thick) bag made from polyethylene tubing (A1 Packagings Ltd., London).
- b) 1500 bag: 500 µl of chemical added to cellulose sponge (3 mm thick, Code 0032 6865, J Sainsbury plc) and heat-sealed into a 500 gauge (0.125 mm thick) bag and a 1000 gauge (0.25 mm thick) bag made from polyethylene tubing (A1 Packagings Ltd., London).
- c) Polyvial: 500 µl of chemical added to cellulose sponge (10 mm thick, Code 0013 4811, J Sainsbury plc) and sealed in a 2.5 ml polyethylene vial (Just Plastics LTD).
- d) Polyvial x 2: 400 µl of chemical sealed into 0.5 ml polyethylene vial and a 2.5 ml polyethylene vial (Just Plastics LTD).

- e) Chromacol vial: 400 μ l of chemical added to vial (volume: 500ul)
- f) Chromacol vial with lid: 400 μ l of chemical added to vial (volume: 500ul) and sealed with a lid containing a 2mm hole.

Trials were performed between April to May (dry season) using the Latin square design at Folonzo and Solenzo and were replicated over 10 or 12 days.

Plate 1: Sachets, polyvials and Chromacol used as dispensers of chemicals during the field trial



2.3. Data analysis

The field data were submitted to an ANOVA after a $\log(n+1)$ transformation using Genstat discovery Edition 3, VSN International programme. When a significant difference was observed the Bonferroni pairwise test was applied to establish treatment differences. The fly captures for the different treatments are expressed as a proportion of the control (the biconical trap alone) and termed the catch index.

3. Results

3.1. Isolated chemicals

Up to 19 products were isolated from the odour of the bull in Folonzo (Table 1) from which 7 were identified, and 25 products were isolated from the bull in Solenzo (Table 2) of which 11 were identified (Table 2). Only 4 products, namely benzaldehyde, nonanal, decanal, and 3-ethylacetophenone, were common to the two animals

Table 1: Components isolated from bull (*Bos Taurus*) at Folonzo

| No. | Retention time (mn) | Tentative identification | Identity confirmed | Estimated quantity (mg/day) | Natural | | 10x Natural | |
|-----|---------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|--------|-----------------|--------|
| | | | | | Lure | mg/day | Lure | mg/day |
| 1 | 6.7 | 4-Methyloctane | unavailable | | | | | |
| 2 | 6.99 | 2,4-Dimethylheptane | unavailable | | | | | |
| 3 | 7.25 | Unknown A | | | | | | |
| 4 | 7.55 | Heptanal | | 1.34 ± 0.17 | Polyvialx2 | 1.3 | Two Polyvials | 7 |
| 5 | 8.26 | Benzaldehyde | | 0.82 ± 0.02 | Polyvialx2 | 1.2 | Two Polyvials | 3.8 |
| 6 | 8.54 | Unknown B | | | | | | |
| 7 | 8.57 | Hexanoic acid | | | | | | |
| 8 | 8.70 | Unknown C | | | | | | |
| 9 | 8.94 | Octanal (or Phenol) | | 1.51 ± 0.02 | Polyvialx2 | 1.5 | Three Polyvials | 5.6 |
| 10 | 9.44 | Glycerin | | | | | | |
| 11 | 9.78 | 3-Methylphenol | + | 0.76 ± 0.01 | Two Polyvial | 0.4 | Three 1500 bags | 2.3 |
| 12 | 9.87 | 4-Methylphenol | + | 0.71 ± 0.03 | Two Polyvial | 0.5 | Three 1500 bags | 2.4 |
| 13 | 10.24 | Nonanal | + | 1.49 ± 0.24 | Chromacol with lid | 1.3 | Three 1000 bags | 5.0 |
| 14 | 10.76 | 2,6-Nonadienal | | | | | | |
| 15 | 10.88 | 4-Ethylbenzaldehyde | + | 1.93 ± 0.28 | | | | |
| 16 | 11.08 | Nonene | + | | | | | |
| 17 | 11.45 | Decanal | + | 1.67 ± 0.08 | Polyvialx2 | 1.3 | 1500 bags | 20.2 |
| 18 | 11.95 | 1-(2,4-Dimethylphenyl)ethanol | | | | | | |
| 19 | 12.06 | 3-Ethylacetophenone | | 0.61 ± 0.01 | Polyvialx2 | 0.5 | Three polyvials | 2.0 |
| 20 | 12.19 | Unknown D | | | | | | |
| 21 | 12.57 | Undecanal | + | 0.46 ± 0.03 | Chromacol with lid | 0.5 | Polyvial | 4.3 |
| 22 | 12.68 | 4-Ethylbenzoic acid | | | | | | |
| 23 | 13.15 | Biphenyl (Lemonene) | + | 0.4 ± 0.01 | Two Polyvialx2 | 0.2 | Two 1000 bags | 1.7 |
| 24 | 13.27 | Dodecanal | | | | | | |
| 25 | 13.97 | 4-Methylpentadecane | unavailable | | | | | |

Only the compounds in bold (10) were tested at Folonzo

Table 2: Components isolated from bull (*Bos indicus*) at Solenzo

| No. | Retention time (mn) | Tentative identification | Identity confirmed | Estimated quantity (mg/day) | Natural | | 10x Natural | |
|-----|---------------------|---|--------------------|-----------------------------|--------------|--------|----------------|------|
| | | | | | Lure | mg/day | | |
| 1 | 6.10 | Butyric acid | | | | | | |
| 2 | 6.56 | 2,3-Dimethyl-1-butanol | Unavailable | | | | | |
| 3 | 6.68 | (Z)-3-Hexenal | | | | | | |
| 4 | 6.77 | Acetoxyacetone | | | | | | |
| 5 | 6.83 | 2-Methylbutyric acid | | | | | | |
| 6 | 7.23 | Dimethyl sulfone | | | | | | |
| 7 | 7.85 | Nonane | + | 0.36 ± 0.01 | | | | |
| 8 | 8.25 | Benzaldehyde | + | 0.76 ± 0.01 | Polyvialx2 | 1.2 | Two Polyvials | 3.8 |
| 9 | 8.54 | Benzonitrile | | | | | | |
| 10 | 8.69 | Phenol | + | 0.55 ± 0.11 | Two Polyvial | 0.3 | Two 1500 bags | 2.6 |
| | | 6-Methyl-5-hepten-2-one | + | 0.37 ± 0.03 | Polyvialx2 | 0.6 | Two Polyvials | 1.7 |
| 12 | 9.39 | Tetrahydro-3,4-furandiol | Unavailable | | | | | |
| 13 | 9.70 | γ-Hexalactone | | | | | | |
| 14 | 9.78 | 2-Methylphenol | | | | | | |
| 15 | 10.24 | Nonanal | + | 0.52 ± 0.05 | Polyvialx2 | 0.6 | Two Chromacols | 3.3 |
| 16 | 10.75 | 1-(1,4-Dimethyl-3-cyclohexen-1-yl)-ethanone | Unavailable | | | | | |
| 17 | 11.46 | Decanal | + | 1.4 ± 0.05 | Polyvialx2 | 1.5 | 1500 bag | 20.2 |
| 18 | 12.04 | 3-Ethylacetophenone | + | 0.80 ± 0.04 | Polyvialx2 | 0.6 | 1500 bag | 11.5 |
| 19 | 12.20 | Nonanoic acid | | | | | | |

Only the compounds in bold (5) were tested at Solenzo

3.2. Trials with host odour components isolated from the bull at Folonzo

Host odour compounds were tested on both *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* that occur sympatrically at Folonzo with, however, far greater densities of *G. tachinoides*, (see Rayaisse *et al.*, 2009).

For all the chemicals tested at both natural and 10 times higher doses than from host, the results showed that the POCA blend was the combination that induced the best catches of *G. tachinoides*, with catch indices generally between 2 to 4 compared to the control ($p < 0.001$; see Table 3, experiment 1). In this same experiment, the phenols (3- and 4-methylphenols) also increased the catches up to 3 fold for 4-methylphenol ($p < 0.01$ at the natural release rate and up to 2.30 fold for 3-methylphenol ($p < 0.01$) at 10 times the natural release rate. Apart from these products, none of the other chemicals tested gave any significant increase compared to the control. Apart from 3- and 4-methylphenol the highest increase in catch index recorded for newly tested products on *G. tachinoides* was 1.47 for 3-ethylacetophenone released at 10 times the natural rate. Catch indices for all other host odours compounds were near 1 or below it and, particularly, biphenyl, heptanal and undecanal halved the catches but this reduction was not significant.

The POCA mixture was also the best treatment for *G. p. gambiensis* with catch indices around 2 (Tables 3 and 4). However, with the newly identified host odour products, in contrast to *G. tachinoides*, the catch indices were improved. Thus for benzaldehyde and 3-ethylacetophenone catch indices were respectively, 2.66 and 3.55 for females and 1.95 and 2.16 for the two sexes combined in Folonzo, although these increases were not significant due to low densities of this species. Here again biphenyl, heptanal, octanal, nonanal, decanal and undecanal reduced trap catches (sometimes up to 50%) mainly at natural doses, although these decreases were not significant.

Table 3: Detransformed daily mean catches of *G. tachinoides* by traps baited with bull odours at Folonzo

| Exp | Treatments | Male | | | Female | | | Total | | |
|-----|--------------------------|----------|-------|---------|----------|-------|---------|----------|-------|---------|
| | | Det mean | sed | index | Det mean | sed | index | Det mean | sed | index |
| 1 | POCA | 23.83 | 0.104 | 3.38*** | 29.76 | 0.126 | 4.90*** | 54.46 | 0.105 | 4.14*** |
| 1 | 4-methylphenol (natural) | 14.56 | 0.104 | 2.06 | 23.32 | 0.126 | 3.84** | 38.81 | 0.105 | 2.95** |
| 1 | 3-methylphenol (natural) | 14.31 | 0.104 | 2.03 | 13.49 | 0.126 | 2.22 | 28.85 | 0.105 | 2.19 |
| 1 | 4-methylphenol x10 | 9.81 | 0.104 | 1.39 | 9.89 | 0.126 | 1.63 | 20.04 | 0.105 | 1.52 |
| 1 | 3-methylphenol x10 | 15.48 | 0.104 | 2.19 | 13.22 | 0.126 | 2.18 | 30.26 | 0.105 | 2.30* |
| 2 | POCA | 60.52 | 0.107 | 1.7 | 74.16 | 0.134 | 2.09 | 138 | 0.112 | 1.91 |
| 2 | Decanal | 34.48 | 0.107 | 0.97 | 31.66 | 0.134 | 0.89 | 69.15 | 0.112 | 0.96 |
| 2 | Nonanal | 42.95 | 0.107 | 1.21 | 43.98 | 0.134 | 1.24 | 87.92 | 0.112 | 1.22 |
| 2 | Octanal | 33.43 | 0.107 | 0.94 | 28.17 | 0.134 | 0.79 | 64.14 | 0.112 | 0.89 |
| 3 | POCA | 55.49 | 0.088 | 1.61 | 66.14 | 0.09 | 1.84 | 123.17 | 0.809 | 1.72 |
| 3 | Decanal x10 | 36.15 | 0.088 | 1.05 | 35.39 | 0.09 | 0.98 | 73.99 | 0.809 | 1.03 |
| 3 | Nonanal x10 | 37.55 | 0.088 | 1.09 | 40.02 | 0.09 | 1.11 | 79.72 | 0.809 | 1.11 |
| 3 | Octanal x10 | 35.81 | 0.088 | 1.04 | 44.50 | 0.09 | 1.24 | 83.53 | 0.809 | 1.17 |
| 4 | POCA | 52.21 | 0.095 | 1.53 | 60.52 | 0.113 | 1.52 | 114.08 | 0.092 | 1.46 |
| 4 | Benzaldehyde | 36.07 | 0.095 | 1.06 | 36.41 | 0.113 | 0.92 | 77.7 | 0.092 | 1 |
| 4 | 3-Ethylacetophenone | 32.50 | 0.095 | 0.95 | 47.53 | 0.113 | 1.20 | 81.04 | 0.092 | 1.04 |
| 4 | Phenol | 31.06 | 0.095 | 0.91 | 42.75 | 0.113 | 1.08 | 75.91 | 0.092 | 0.97 |
| 5 | POCA | 38.26 | 0.094 | 1.88 | 44.39 | 0.167 | 1.68 | 84.70 | 0.143 | 1.78 |
| 5 | Benzaldehyde x10 | 26.61 | 0.094 | 1.31 | 25.36 | 0.167 | 0.96 | 54.85 | 0.143 | 1.15 |
| 5 | 3-Ethylacetophenone x10 | 32.81 | 0.094 | 1.61 | 32.57 | 0.167 | 1.23 | 69.96 | 0.143 | 1.47 |
| 5 | Phenol x10 | 26.16 | 0.094 | 1.29 | 22.44 | 0.167 | 0.85 | 51.72 | 0.143 | 1.09 |
| 6 | POCA | 25.30 | 0.124 | 1.39 | 30.12 | 0.118 | 1.03 | 56.28 | 0.117 | 1.15 |
| 6 | Biphenyl | 12.96 | 0.124 | 0.71 | 19.61 | 0.118 | 0.67 | 32.73 | 0.117 | 0.67 |
| 6 | Undecanal | 9.96 | 0.124 | 0.55 | 20.09 | 0.118 | 0.69 | 31.06 | 0.117 | 0.63 |
| 6 | Heptanal | 19.42 | 0.124 | 1.07 | 21.65 | 0.118 | 0.74 | 41.36 | 0.117 | 0.84 |
| 7 | POCA | 23.60 | 0.140 | 1.31 | 29.83 | 0.138 | 1.10 | 53.83 | 0.141 | 1.14 |
| 7 | Biphenyl x10 | 17.54 | 0.140 | 0.98 | 24.41 | 0.138 | 0.90 | 41.56 | 0.141 | 0.88 |
| 7 | Undecanal x10 | 8.95 | 0.140 | 0.50 | 13.32 | 0.138 | 0.49 | 21.70 | 0.141 | 0.46 |
| 7 | Heptanal x10 | 17.71 | 0.140 | 0.99 | 20.83 | 0.138 | 0.77 | 36.41 | 0.141 | 0.77 |

All means based on 10 replicates, except for experiment 1 with 12 replicates. Indices followed by *, ** or *** are significant at the 0.05, 0.01 or 0.001 levels respectively

Table 4: Detransformed daily mean catches of *G. p. gambiensis* by trap baited with bull odours at Folonzo

| Exp | Treatments | Male | | | Female | | | Total | | |
|-----|--------------------------|----------|-------|---------|----------|-------|-------|----------|-------|---------|
| | | Det mean | sed | index | Det mean | sed | index | Det mean | sed | index |
| 1 | POCA | 1.62 | 0.109 | 1.82 | 1.05 | 0.104 | 2.26 | 2.50 | 0.123 | 1.75 |
| 1 | 4-methylphenol (natural) | 1.34 | 0.109 | 1.51 | 1.30 | 0.104 | 2.82 | 2.55 | 0.123 | 1.79 |
| 1 | 3-methylphenol (natural) | 0.88 | 0.109 | 0.99 | 1.30 | 0.104 | 0.56 | 2.55 | 0.123 | 0.78 |
| 1 | 4-methylphenol x10 | 1.00 | 0.109 | 1.12 | 0.26 | 0.104 | 1.11 | 1.11 | 0.123 | 1.05 |
| 1 | 3-methylphenol x10 | 1.11 | 0.109 | 1.25 | 0.51 | 0.104 | 1.31 | 1.50 | 0.123 | 1.20 |
| 2 | POCA | 7.41 | 0.098 | 2.35*** | 3.69 | 0.118 | 1.76* | 11.13 | 0.095 | 2.03*** |
| 2 | Decanal | 1.45 | 0.098 | 0.46 | 1.07 | 0.118 | 0.51 | 2.57 | 0.095 | 0.47 |
| 2 | Nonanal | 2.72 | 0.098 | 0.86 | 1.98 | 0.118 | 0.94 | 4.25 | 0.095 | 0.77 |
| 2 | Octanal | 1.81 | 0.098 | 0.58 | 1.24 | 0.118 | 0.59 | 3.43 | 0.095 | 0.62 |
| 3 | POCA | 11.71 | 0.126 | 2.93** | 4.64 | 0.135 | 1.50 | 17.20 | 0.125 | 2.46* |
| 3 | Decanal x10 | 3.26 | 0.126 | 0.82 | 2.94 | 0.135 | 0.96 | 7.15 | 0.125 | 1.02 |
| 3 | Nonanal x10 | 4.00 | 0.126 | 1.00 | 1.57 | 0.135 | 0.51 | 6.16 | 0.125 | 0.88 |
| 3 | Octanal x10 | 6.33 | 0.126 | 1.29 | 3.79 | 0.135 | 1.23 | 10.25 | 0.125 | 1.46 |
| 4 | POCA | 4.65 | 0.117 | 2.01 | 2.94 | 0.130 | 1.46 | 7.59 | 0.136 | 1.87 |
| 4 | Benzaldehyde | 3.47 | 0.117 | 1.50 | 3.70 | 0.130 | 1.84 | 7.22 | 0.136 | 1.78 |
| 4 | 3-Ethylacetophenone | 3.03 | 0.117 | 1.31 | 2.70 | 0.130 | 1.35 | 6.43 | 0.136 | 1.58 |
| 4 | Phenol | 2.60 | 0.117 | 1.12 | 2.32 | 0.130 | 1.16 | 4.79 | 0.136 | 1.18 |
| 5 | POCA | 7.32 | 0.115 | 2.30 | 4.52 | 0.141 | 2.76 | 12.12 | 0.130 | 2.56 |
| 5 | Benzaldehyde x10 | 4.38 | 0.115 | 1.37 | 4.35 | 0.141 | 2.66 | 9.23 | 0.130 | 1.95 |
| 5 | 3-Ethylacetophenone x10 | 4.06 | 0.115 | 1.27 | 5.81 | 0.141 | 3.55 | 10.22 | 0.130 | 2.16 |
| 5 | Phenol x10 | 3.71 | 0.115 | 1.16 | 4.68 | 0.141 | 2.86 | 9.19 | 0.130 | 1.94 |
| 6 | POCA | 1.65 | 0.091 | 3.08 | 1.45 | 0.105 | 1.02 | 3.23 | 0.100 | 1.60 |
| 6 | Biphenyl | 0.28 | 0.091 | 0.53 | 1.77 | 0.105 | 1.24 | 2.07 | 0.100 | 1.03 |
| 6 | Undecanal | 0.58 | 0.091 | 1.08 | 1.13 | 0.105 | 0.79 | 1.71 | 0.100 | 0.85 |
| 6 | Heptanal | 0.28 | 0.091 | 0.53 | 0.61 | 0.105 | 0.43 | 0.99 | 0.100 | 0.49 |
| 7 | POCA | 1.19 | 0.089 | 0.86 | 1.99 | 0.092 | 1.20 | 2.98 | 0.104 | 0.99 |
| 7 | Biphenyl x10 | 1.13 | 0.089 | 0.81 | 0.76 | 0.092 | 0.46 | 1.87 | 0.104 | 0.62 |
| 7 | Undecanal x10 | 0.87 | 0.089 | 0.63 | 1.25 | 0.092 | 0.75 | 2.14 | 0.104 | 0.71 |
| 7 | Heptanal x10 | 1.02 | 0.089 | 0.74 | 1.58 | 0.092 | 0.95 | 2.94 | 0.104 | 0.98 |

All means based on 10 replicates, except for experiment 1 with 12 replicates. Indices followed by *, ** or *** are significant at the 0.05, 0.01 or 0.001 levels respectively

3.3. Trials on chemicals isolated from the bull at Solenzo

None of the bull host odour compounds, irrespective of dose, caught significantly more *G. p. gambiense* than the control (Table 5), and the highest trap catch index was obtained for males of around 1.7 induced respectively, by 6-methyl-5-hepten-3-one and benzaldehyde, both released at the natural dose. Decanal at 10 times the natural dose reduced the captures of males by up to 40% (Table 5, experiment 2) but the same product at a natural dose and nonanal at both doses showed trap catch indices of approximately 1. Only the POCA blend of chemicals significantly increased trap captures for *G. p. gambiensis*, with indices of between 2 to 2.86.

Table 5: Detransformed daily mean catches of *G. p. gambiensis* by traps baited with bull odours at Solenzo

| Exp | Treatments | Male | | | Female | | | Total | | |
|-----|-----------------------------|----------|-------|-------|----------|-------|---------|----------|-------|---------|
| | | Det mean | sed | index | Det mean | sed | index | Det mean | sed | index |
| 1 | POCA | 6.21 | 0.109 | 2.91* | 8.46 | 0.079 | 3.16*** | 14.78 | 0.078 | 2.86*** |
| 1 | 6-Methyl-5-hepten-3-one | 3.13 | 0.109 | 1.47 | 3.62 | 0.079 | 1.35 | 7.47 | 0.078 | 1.45 |
| 1 | Decanal | 2.61 | 0.109 | 1.22 | 4.15 | 0.079 | 1.35 | 6.85 | 0.078 | 1.33 |
| 1 | Nonanal | 2.15 | 0.109 | 1.01 | 3.65 | 0.079 | 1.36 | 5.93 | 0.078 | 1.15 |
| 2 | POCA | 5.49 | 0.115 | 2.12 | 9.28 | 0.107 | 2.04 | 15.11 | 0.096 | 1.97 |
| 2 | 6-Methyl-5-hepten-3-one x10 | 4.26 | 0.115 | 1.65 | 7.45 | 0.107 | 1.63 | 11.85 | 0.096 | 1.55 |
| 2 | Decanal x10 | 1.48 | 0.115 | 0.57 | 6.35 | 0.107 | 1.39 | 7.93 | 0.096 | 1.03 |
| 2 | Nonanal x 10 | 2.89 | 0.115 | 1.12 | 4.78 | 0.107 | 1.05 | 7.53 | 0.096 | 0.98 |
| 3 | POCA | 3.98 | 0.098 | 2.65 | 6.08 | 0.100 | 2.15* | 10.25 | 0.086 | 2.25** |
| 3 | Benzaldehyde | 2.53 | 0.098 | 1.69 | 4.41 | 0.100 | 1.56 | 7.18 | 0.086 | 1.58 |
| 3 | Benzaldehyde x10 | 2.02 | 0.098 | 1.35 | 2.74 | 0.100 | 0.97 | 5.37 | 0.086 | 1.18 |
| 3 | Phenol | 2.23 | 0.098 | 1.49 | 3.62 | 0.100 | 1.28 | 6.13 | 0.086 | 1.34 |
| 3 | Phenol x 10 | 1.94 | 0.098 | 1.29 | 2.49 | 0.100 | 0.88 | 4.92 | 0.086 | 1.08 |

All means based on 10 replicates, except for experiment 3 with 12 replicates. Indices followed by *, ** or *** are significant at the 0.05, 0.01 or 0.001 levels respectively

4. Discussion

Isolated chemicals

Natural host odour (bovine in this case) is constituted of several different chemicals (as illustrated by some of them listed in Tables 1 and 2) and as reported earlier (Gikonyo, 2002; Hargrove *et al.*, 1995; Torr *et al.*, 1995; Owaga *et al.*, 1988). However, some key components such as acetone, 3-n-propylphenol and 1-octen-3-ol, formerly identified as very good attractants from bovids did not appear in the GC- EAG analyses. It is noteworthy that these products constitute with para-cresol (4-methylphenol) the POCA blend, currently the best attractant available for tsetse fly species in East and Southern Africa (Vale *et al.*, 1988b; Dransfield *et al.*, 1986) and also in West Africa (Rayaisse *et al.*, 2010; IAEA, 2003). For acetone, one explanation may be that this compound was not retained on the adsorbent, hence would not have been detected by chromatography. For the two other products, 3-n-propylphenol and 1-octen-3-ol, they could certainly have been present like 4-methylphenol in the extracts, but at too low concentrations in the samples to be detectable. However, these compounds were already detected in ox odour during EAG recordings (Gikonyo *et al.*, 2002). Of the components identified so far from the two bovid host odour extracts, only few of them

(4) are common to both, albeit the fact that many of the compounds identified from the bulls have been identified in odours from other vertebrates. Several hypotheses could be used for a tentative of explanation of this situation:

- Due to the fact *G. tachinoides* is the predominant species in Folonzo, the EAG recordings were essentially done on this species while *G. p. gambiensis* was the one mainly used in Solenzo and these two species may not necessarily have the same receptor cells. Moreover, it was also found that *G. pallidipes* and *G. m. morsitans* antenna (both savannah species of the *morsitans* group) do not respond electrophysiologically to the same set of odour components (Gikonyo *et al.*, 2002). For instance, although both species respond to (E)-2-heptenal, nonanal, and decanal, only *G. m. morsitans* respond to undecanal and only *G. pallidipes* to (E)-2-nonanal. These results may indicate some specificity in olfactory responses of given tsetse species, and may reflect differences in bloodmeal preferences (Clausen *et al.*, 1998; Gikonyo *et al.*, 2002). However, other authors showed the same responses in tsetse (*G. brevipalpis*, *G. fuscipes fuscipes* and *G. pallidipes*), from the 3 different tsetse groups, to odours from a range of biological substrates (rumen metabolites; Harraca *et al.*, 2009) and plant compounds (Syed *et al.*, 2004).

- Another reason may be that since the studies were undertaken at two different sites, some parameters (nature of the vegetation consumed, physiological state of the host animals used) may influence metabolism in the rumen and in turn, the quantity and quality of chemicals released from the host, inducing or not a reaction on tsetse antennal receptor cell responses.

To conclude on this aspect, it was documented that urines from *Bos indicus* and *Bos taurus* bulls of almost equal weight did not induce the same behavioural responses from *G. tachinoides* (Filledier and Mérot, 1989), and this may mean that components released from these hosts are qualitatively different.

Field trials of the host odour components

All through the series of experiments at the two sites, the POCA blend induced the best catch indices compared to the standard biconical trap for both *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis*, although results were variable, confirming previous findings in Burkina Faso (AIEA, 2003; Rayaisse *et al.*, 2010). In fact the most consistent result obtained is the variability in responses to these olfactory attractants observed for these two species. This variability was already observed by Laveissière *et al.*, 1987 for *G. palpalis palpalis* in the Ivory Coast. This variability in responses appears to be specific to these palpalis group species, since this has not been reported for savannah species of the *morsitans* group (Vale *et al.*, 1988b; Dransfield *et al.*, 1986). However, the POCA blend generally performed well and one may seek the reasons of the eventual variations in the local microclimatic factors (daily temperatures) that could affect the evaporation rates of the test products. In any case, the variation of the release rates (Tables 1 and 2) clearly shows how important local microclimatic factors are on the evaporation rate, and this indeed, has an effect on tsetse fly response (Hargrove *et al.*, 1995).

Apart from this, only few new candidate host odour products, if any, showed promising results. 3-Ethylacetophenone and benzaldehyde both increased by 2 fold catches of *G. p. gambiensis* at 10 times the natural dose and 6-methyl-5-hepten-3-one by 1.55 fold although all these increases were not significant. Such increases in trap capture for *G. p. gambiensis* could be considered as promising since so far there has been no viable attractant other than the POCA blend of chemicals that succeeded to induce an improvement to this level in the trap catch index. Mixtures of the host odour components may show better results in the future. In any case, even for well known semiochemicals, it is generally noted that their effect is more significant when they are used in combination (Vale *et al.*, 1988b; Dransfield *et al.*, 1986).

For *G. tachinoides*, in addition to the POCA, only 3- and 4-methylphenol, already known as attractants for this species (Filledier and Mérot, 1989) induced significantly better results than the control. At Folonzo, undecanal, heptanal and biphenyl at both doses decreased trap catches of *G. tachinoides*. It was found that decanal, nonanal and octanal, in addition to the components cited above for *G. tachinoides*, also decreased catches of *G. p. gambiensis*. This could suggest that these chemicals, predominantly aldehydes, may constitute candidate repellents for tsetse flies. In fact, such a hypothesis is not new, as previous studies on individual C1-C7 aldehydes showed that they were not reproducibly attractive and may be repellent (Vale, 1980).

However, for *G. p. gambiensis* at Solenzo, the pattern was not exactly the same. If the aldehydes (decanal and nonanal also tested in Folonzo) did not significantly increase trap catches, at least they did not decrease them. Is this due to the influence of the biotope on tsetse fly behaviour? In regards to the biotope one could argue that as the vegetation and other hosts can produce odours, these “background” odours could have interacted with the baits and since the vegetation and the other hosts were not necessarily the same at the two sites, the effects of the combination of background odours and synthetic odour may differ, hence the difference in tsetse behaviour at Folonzo and Solenzo. Moreover, Paynter and Brady (1992) have shown that upwind flight of tsetse to sources of odours is influenced by habitat structure with tsetse flies flying along paths and breaks in the bush. Because it is a protected area, the vegetation at Comoe is more abundant compared to that along the Mouhoun river which is fragmented due to human pressure and farming (Rayaisse *et al.*, 2009; Bouyer *et al.*, 2005).

Could the difference of behaviour at the two sites also mean that *G. p. gambiensis* is not the same on the two sites due to genetics variations? Indeed several studies dealing with population genetics have shown that tsetse (*G. palpalis* group) display population structuring (Solano *et al.*, 2000; Bouyer *et al.*, 2009; Solano *et al.*, 2010), which may in turn lead to differences in behaviour.. This hypothesis has indeed been raised by Torr and Solano (2010) to possibly explain within-species differences in responses to olfactory attractants.

References

- Arn H., Städler E., Rauscher S. 1975. The electroantennographic detector – a selective and sensitive tool in gas chromatographic analysis of insect pheromones. *Zeitschrift für Naturforschung*, **30**:722-725.
- Bouyer J., Guerrini L., Cesar J., de la Rocque S., Cuisance D. 2005. A phyto-sociological analysis of the distribution of riverine tsetse flies in Burkina Faso. *Medical and Veterinary Entomology*, **19**: 372-378.
- Bouyer J., Balenghien T., Ravel S., Vial, L., Sidibé I., Thévenon S., Solano P., De Meeûs T. 2009. Population sizes and dispersal pattern of tsetse flies: rolling on the river? *Molecular Ecology*, **18**: 2787-2797.
- Clausen P. H., Adeyemi I., Bauer B., Breloeer M., Salchow F., Staak C. 1998. Host preferences of tsetse (Diptera: Glossinidae) based on bloodmeal identifications. *Medical and Veterinary Entomology*, **12**: 169-180.
- Dransfield R. D., Brightwell R., Chaudry M. F., Golder J. K., Tarimo S. A. R. 1986. The use of odour attractants for sampling *Glossina pallidipes* Austen (Diptera: Glossinidae) at Nguruman, Kenya. *Bulletin of Entomological Research*, **76**: 607 – 619.
- Filledier J., Mérot P. 1989. Etude de l’attractivité de solutions isolées par fractionnement de l’urine de bovin Baoulé pour *Glossina tachinoides* Westwood, 1850 au Burkina Faso. *Revue d’Elevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **42**: 453-455.
- Gikonyo N. K., Hassanali A., Njagi P. G. N., Gitu P. M., Midiwo J. O. 2002. Odor composition of preferred (buffalo and ox) and nonpreferred (waterbuck) hosts of some savanna tsetse flies. *Journal of Chemical Ecology*, **28**: 969-981.

- Hall D. R., Breevor P. S., Cork A., Nesbitt B. F., Vale G. A. 1984. 1-octen-3-ol. A potent olfactory stimulant and attractant for tsetse isolated from cattle odours. *Insect Science and its Application*, **5**:335-339.
- Hargrove J. W., Holloway M. T. P., Vale G. A., Cough A. J. E., Hall D. R. 1995. Catches of tsetse flies (*Glossina* spp) (Diptera: Glossinidae) from traps and targets baited with large doses of natural and synthetic host odour. *Bulletin of Entomological Research*, **85**: 215 – 227.
- Harraca V., Syed Z., Guerin P. M. 2009. Olfactory and behavioural responses of tsetse flies, *Glossina* spp., to rumen metabolites. *Journal of Comparative Physiology*, **195**: 815-824.
- Hassanali A., McDowell P. G., Owaga M. L. A., Saini R. K. 1986. Identification of tsetse attractants from excretory products of a wild host animal, *Syncerus caffer*. *Insect Science and its Application*, **7**:5-9.
- International Atomic Energy Agency. 2003. Improved attractants for enhancing tsetse fly suppression. IAEA-TECDOC-1373, 121pp.
- Laveissière C., Couret D., Manno A. 1987. Importance de la nature des tissus dans la lutte par piègeage contre les glossines. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **25**(3-4) :133 – 143.
- Owaga M. L. A., Hassanali A., McDowell P. G. 1988. The role of 4-cresol and 3-n-propylphenol in the attraction of tsetse flies to buffalo urine. *Insect Science and its Application*, **9**:95-100.
- Paynter Q., Brady J. 1992. Flight behaviour of tsetse flies in thick bush (*Glossina pallidipes* (Diptera: Glossinidae)). *Bulletin of Entomological Research*, **82**: 513 – 516.
- Rayaisse J. B., Courtin F., Akoundjin M., César J., Solano P. 2009. Influence de l'anthropisation sur la végétation et l'abondance des tse-tse au sud du Burkina Faso. *Parasite*, **1** : 21–28.
- Rayaisse J. B., Tirados I., Kaba D., Dewhirst S. Y., Logan J. G., Diarrassouba A., Salou E., Omolo M., Solano P., Lehane M. J., Pickett J. A., Vale G.A., Torr S.J., Esterhuizen J. 2010. Prospects for the development of odour baits to control the tsetse flies *Glossina tachinoides* and *G. palpalis* s.l. *Plos Neglected Tropical Diseases*, **4**(3): e632. doi:10.1371/journal.pntd.0000632
- Solano P., dela Rocque S., de Meeus T., Cuny G., Duvalet G., Cuisance D. 2000. Microsatellite DNA markers reveal genetic differentiation among populations of *Glossina palpalis gambiensis* collected in the agro-pastoral zone of Sideradougou, Burkina Faso. *Insect Molecular Biology*, **9**:433-439.
- Solano P., Ravel S., De Meeûs T., 2010. How can tsetse population genetics contribute to African trypanosomiasis control? *Trends in Parasitology*, **26**: 255-263.
- Syed Z., Guerin P. M. 2004. Tsetse flies are attracted to the invasive plant *Lantana camara*. *Journal of Insect Physiology*, **50**: 43-50.
- Torr S. J., Solano P. 2010. Olfaction in *Glossina*-host interactions: a tale of two tsetse. In Olfaction in vector hosts interactions: Ecology and control of vector borne diseases, vol. 2, chap 12, 265-289. Eds B. Knols & W. Takken, Wageningen University, Netherlands, 437 pp.
- Torr S. J., Hall D. R., Smith J. L. 1995. The responses of tsetse flies (Diptera : Glossinidae) to natural and synthetic ox odour. *Bulletin of Entomological Research*, **84**: 411-419.
- Vale G. A., Hall D. R., Cough A. J. E. 1988a. The olfactory responses of tsetse flies, *Glossina* spp. (Diptera: Glossinidae), to phenols and urine in the field. *Bulletin of Entomological Research*, **78**:293-300.
- Vale G. A., Lovemore D. F., Flint S., Cockbill G. F. 1988b. Odour-baited targets to control tsetse flies, *Glossina* spp (Diptera: Glossinidae), in Zimbabwe. *Bulletin of Entomological Research*, **78**: 31 – 49.
- Vale G. A., Hall D. R. 1985. The use of 1-octen-3-ol, acetone and carbon dioxide to improve baits for tsetse flies, *Glossina* spp. (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **75**: 219 – 231.
- Vale G. A. 1980. Field studies of the responses of tsetse flies (Glossinidae) and other Diptera to carbon dioxide, acetone and other chemicals. *Bulletin of Entomological Research*, **70**: 563-570.

Chapter 6: Comparisons of shape, colour and materials of trapping devices

Abstract

Studies were made in Burkina Faso to evaluate the importance of key parameters affecting trapping device performance for *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* in order to propose rational tools for tsetse control. This consisted in (1) measuring the importance of the shape of the trapping devices (2-D versus 3-D), (2) measuring the role of textile quality, (3) assessing effects of combined visual and olfactory cues, and (4) determining the efficiency of Challier – Laveissière biconical versus the Vavoua monoconical traps. Targets proved as efficient as biconical traps in attracting both *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides*. 100% Phthalogen blue cotton-confectioned traps or targets appear to be best for capturing *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides*, and, in addition, cotton is biodegradable. The POCA blend of attractants affected attraction of both *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides* to the target to the same extent as to the biconical trap. Both the biconical and monoconical traps showed poor efficiency, with less than 20% of the flies attracted to these devices being caught in their respective cages.

Keyword: tsetse fly, trap, target, textile, trap efficiency

1. Introduction

Different types of materials (type and colour) have been used across the African continent in the confection of traps/targets for tsetse control. However blue, and more precisely phthalogen blue, has been shown to be the most attractive colour (Green, 1990; Mérot, 1989; Laveissière, 1987). This is partially due to the reflectivity of this material and to the sensitivity of tsetse to a particular part of the light spectrum, especially to ultra-violet, blue and yellow-green (Green, 1988).

The types of the materials used to make traps and targets also plays an important role as for instance the nature of the dyes used for cotton and mixed fabrics (cotton, cotton/ polyester) regarding colour fastness (Laveissière *et al.* 1987).

Another issue is the structure (three-dimensional or two-dimensional) and size of the objects that play key roles in trapping-device efficiency. In Folonzo (Burkina Faso), Laveissière *et al.* (1981) showed that the efficacy of impregnated targets on the short term is quiet similar to that of traps, but on the long term the effectiveness of targets is lower than that of traps as traps seems to be more efficient at relatively low tsetse fly densities.

Relations between size and efficacy are also variable: while it is generally acknowledged that for savannah tsetse of East and Austral Africa “the biggest is the best” (Kappmeier and Nevill, 1999; Vale, 1993), this has been less clear for Palpalis group tsetse of West Africa for which catches were either non significantly, or only marginally significantly related to size (Gouteux *et al.*, 1981; Laveissière *et al.*, 1987 for *G. p. palpalis* in the Ivory Coast). Many works were undertaken in the past for the development of trapping devices for tsetse in West Africa and this lead to the now famous Challier – Laveissière biconical trap (Challier *et al.*, 1973) and to the Vavoua monoconical trap (Laveissière and Grébaut, 1990), that are effective for *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides*. Also, Laveissière *et al.* (1987) developed the black/blue/black target that can simultaneously be used with traps. However, although the two trap types are commonly used across West Africa and can quickly reduce tsetse populations when impregnated with insecticide (Cuisance *et al.*, 1984; Laveissière *et al.*, 1981), their efficiency remains low. As a consequence, they cannot eliminate tsetse population in an area hence the need of further investigations to improve their efficacy.

The main purpose of the current study was to evaluate the importance of the different parameters that affect the efficacy of tsetse trapping devices. This has consisted in:

- measuring the importance of the shape of the trapping devices on tsetse fly captures
- measuring the role of textile quality in trapping device performance
- assessing effects of vision and olfaction in trapping device performance in order to propose rational tools for tsetse control
- determining the efficiency of Challier – Laveissière biconical and Vavoua monoconical traps
- and additionally, studying the effect of the shiny film (Mohamed-Ahmed and Mihok, 2009) used in our experiments on the performances of the different devices.

2. Material and methods

2.1. Study sites

Some of the trials listed above were undertaken on the same sites as for the work performed in chapter 3, i.e. on the banks of Mouhoun and Comoé rivers, respectively, in the provinces of Banwa and Comoé. In Banwa province, the trial on unbaited treatments was undertaken in the village of Montionkuy, while the trial with the POCA added to devices was done in the village of Mollé Kotou, at about 60 km from the first site. The reason for this change of location is that the densities of flies had dramatically decreased after the first trial.

Trials in Banwa province were performed in October 2009 while those in the Comoé were done in December of the same year. Both periods were in the dry season, although some rains were still possible in October.

Trials on the trap efficiency and on the effect of the sticky film were performed in October 2010, along the Pindia river (a tributary of the Mouhoun river) in the village of Kartasso, province of Kéné Dougou, western Burkina Faso (11°18N, 5°27W) where *Glossina palpalis gambiensis* only occurs, and in November 2010 in Folonzo along the Comoé river where *Glossina tachinoides* is predominant.

2.2. The different experiments

Three different experiments were performed.

2.2.1. Experiment 1: Effect of shape, colour and type of material nature on devices performances

Six (6) tsetse fly capturing devices were compared in two steps, first without attractant, then in a second step by adding 3 ml of POC and a bottle releasing 5 mg of acetone per hour (see chapter 4). The following devices were compared:

- Challier – Laveissière biconical trap in standard phthalogen blue cotton material (Treatment A)
- Challier – Laveissière biconical trap in phthalogen blue cotton/polyester (Treatment B)
- Challier – Laveissière biconical trap in turquoise blue cotton/polyester (Treatment C)
- Vavoua monoconical trap in standard phthalogen blue cotton (Treatment D)
- Vavoua monoconical trap in phthalogen blue cotton/polyester I (Treatment E)
- Blue – Black 1m*1m (1/1) target in standard phthalogen blue cotton and polyester black (Treatment F)

In a second step the same trapping devices were tested with the POCA attractant blend added, hence the above treatments are referred to as treatments Q, R, S, T, U and V.

Except for the target (treatments F and V), the collection devices for all the traps were Roubeaud cages while the target was covered with a Rentokil sticky film (Mohamed-Ahmed and Mihok, 2009; Ndegwa and Mihok, 1999) from which flies cannot escape once they have landed (plate 1).

For every step, the comparison was made following a 6*6 Latin square simultaneously replicated 3 times.

Plate 1: Picture of a target covered with sticky film on the banks of the Comoé river



© Rayaissé

2.2.2. Experiment 2: Determination of the efficiency of traps

As indicated by Laveissière *et al.* (1987), tsetse fly trapping devices can be studied in two respects: attractiveness and efficacy. The attractiveness represents the number of tsetse flies attracted to the trapping device, while the efficacy is the number that land on a target or enter into a trap. Efficacy can be estimated by inserting a target between electric grids (Vale and Hargrove, 1979), or by putting a cage at the top of the trap measuring its attractiveness either by circling the trap with electric grids or covering its surfaces with sticky material (as in the current study). The ratio efficacy/attractiveness will represent the efficiency of the device. In this study 5 treatments were compared as following:

- Treatment A: Blue/black target covered with sticky tape
- Treatment B: Challier-Laveissière biconical trap
- Treatment C: Challier-Laveissière trap with all the blue part of the trap covered with sticky film (Plate 2)
- Treatment D: Vavoua Monoconical trap

- Treatment E: Vavoua Monoconical trap with the blue and black panels covered with sticky film. Only the part under the iron hoop was covered (Plate 3).

The blue textile used for all these devices was the standard phthalogen blue cotton from TD, France (see paragraph below on origin of the materials). The black textile used for all the trapping devices was from Sunflag Textiles Nairobi, Kenya and the white netting was from the Vestergaard Frandsen Group SA, Vietnam branch.

Experiments were performed following a 5*5 latin square design either with 3 replicates (Kartasso) or with 4 replicates (Folonzo), with the devices set at 8.00 am and the cages containing flies collected at the same time the next day. Flies on the sticky parts of traps and targets were counted directly on site before moving the device. With the sticky film, flies were counted according to the coloured portion of the device on which they landed (black or blue) and also in the Roubeaud cage for flies that entered in the trap. This allows direct comparison between two-dimensional and three-dimensional systems (targets versus traps) but also to measure the efficiency of the biconical and monoconical traps as the numbers of flies landing to these devices and the number that effectively enter the cages can be counted and compared.

Plate 2: Biconical trap covered with sticky tape



Plate 3: Monoconical trap with the hanging panels covered with sticky tape



2.2.3. Experiment 3: Effect of the shiny film on device performances

This experiment consisted in comparing a 1mx1m black/blue matt target (treatment A) with the same target but covered with a sticky film (treatment B; see Plate 4). The sticky face of the film was laid against the target cloth so only the shiny face was exposed to the tsetse flies, such that the two targets only differed by the presence of the shiny material on treatment B. The numbers of tsetse attracted to the target was measured by covering the targets with a grid of fine electrocuting wires (0.8 cm far apart) that killed or stunned tsetse as they landed (Vale and Hargrove, 1979). The blue textile used for these targets was the standard phthalogen blue cotton (see paragraph below on origin of the materials) and black textile used was from Sunflag Textiles Nairobi, Kenya.

Plate 4: A matt target (treatment A) and target covered with shinyfilm with the shiny side facing outwards (treatment B) inserted between electric grids



To be able to count killed or stunned tsetse according to the colour of the cloth the e-target was set on a collecting tray (Plate 5) divided in two parts beneath the coloured portions of the target and containing water to prevent fly predation by other insects. The target was always set perpendicular to the river with the blue part closest to the river. The portions of the river on which the different experiments were made were oriented East-West such that one side of the target was always exposed to the sun. Experiments were performed following a 2*2 latin square design (10 replicates for each) and run from 8 am to 12 noon, i.e. for the 4 hours when Palpalis group species are most active (Filleard *et al.*, 1988; Challier, 1976).

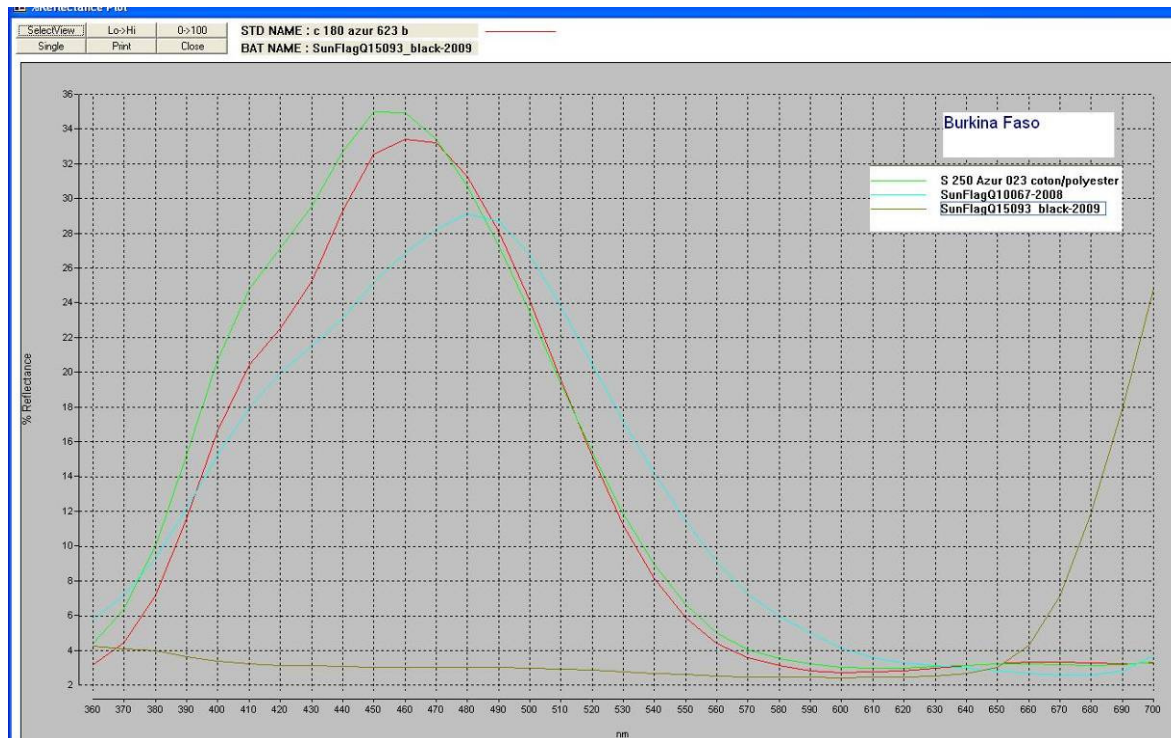
Plate 5: A blue/black target set on a tray with separate portions for collection of flies according to the colour of the cloth



2.3. Provenance of different materials used in trapping devices

Apart from the biconical trap in Turquoise blue in experiment 1, all the others devices were sown together locally by tailors trained by CIRDES, Bobo – Dioulasso. The biconical trap in turquoise blue (Sun Flag Q 10067-2008) was sewn in Kenya by Tsetse Consultants, Nairobi with material from Sunflag Textiles, Nairobi, Kenya and constituted of 35% cotton/65% polyester. The standard phthalogen blue cotton cloth (C180, colour Azur 623) and the phthalogen blue 65% cotton/35% polyester (S250, colour Azur 23) were sourced from TDV Industries, Laval/France. The black cloth (Sunflag Q15093-2009) used for all trapping devices was from Sunflag Textiles, Nairobi, Kenya and the white netting was from Vestergaard Frandsen Group, Vietnam Branch. The sticky film was sourced from Renkotil Initial Supplies, Liverpool/UK. The spectral reflectance of all these textiles was at first recorded at the Faculty of Science, University of Neuchâtel and records are shown in Figure 1.

Figure 1: Spectral reflectance of the different clothes



3. Statistical analysis

Daily catches were normalized and variances homogenized using a $\log_{10}(n+1)$ transformation and a general linear model, including day and position as additional explanatory parameters, was used for ANOVA calculations.

4. Results

4.1. Effect of shape, colour and type of material on device performances (experiment 1)

4.1.1. Banwa province (October 2009)

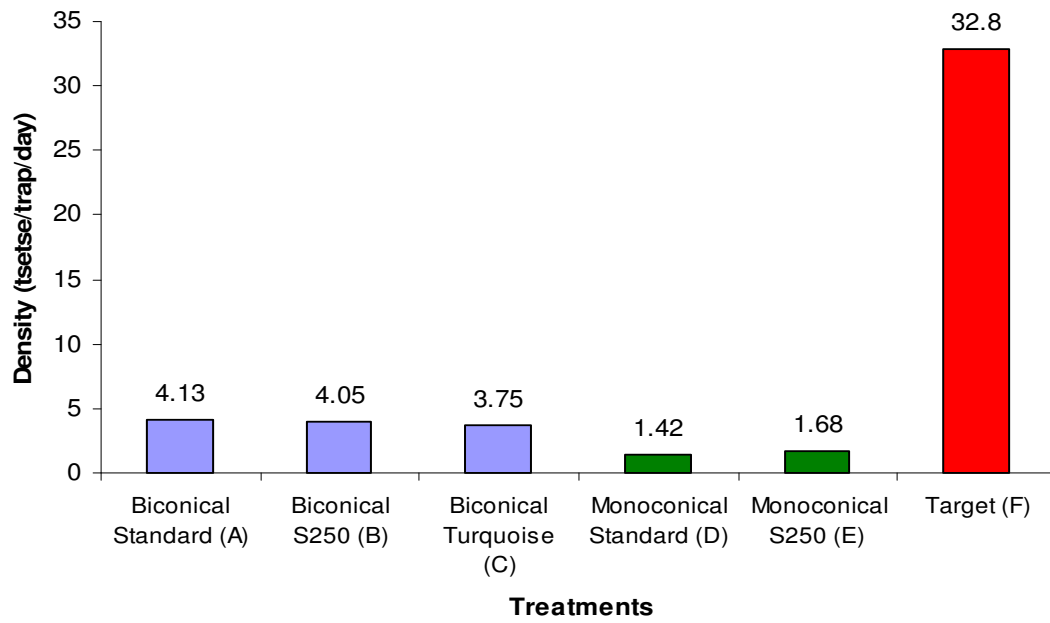
Only one species, *Glossina palpalis gambiensis* was captured in the area during the trials

4.1.1.1. Comparison of unbaited trapping devices at Montionkuy

The daily mean captures ranged from 1.42 flies/trap/day for the monoconical trap in standard blue cotton cloth (treatment D) to 33 flies/trap/day for the black-blue target (Figure 2), and the devices could be divided into 3 groups:

- the target, showing the significantly higher catches compared to the 5 others treatments ($p < 0.001$; Table 1)
- the 3 biconical traps with mean captures of 4 flies/trap/day
- and the 2 monoconical trap types with mean captures about 1.5 flies/trap/day, both significantly lower than the biconical traps ($p < 0.05$).

With the different trapping devices, females were more frequently caught than males and on the target for instance, they are twice as many males (19.07 as against 10.24; see Table 6).

Figure 2: Daily mean captures of *G. p. gambiensis* by unbaited trapping devices**Table 1: Level of significance between the unbaited treatments for *G. p. gambiensis* at Montionkuy**

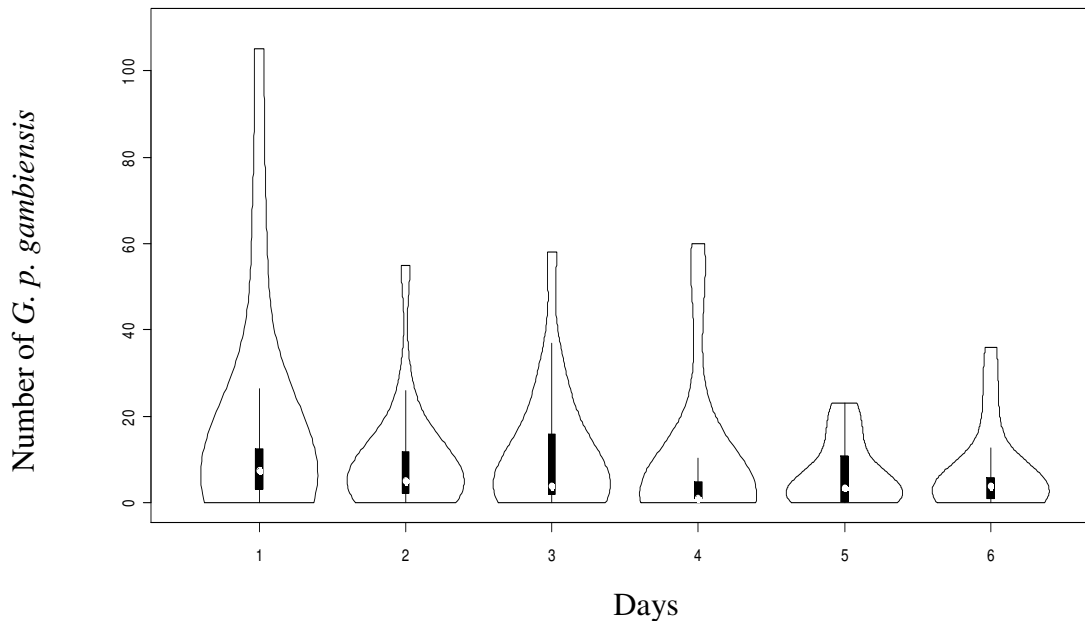
| Treatment | Biconical Standard | Biconical S250 | Biconical Turquoise | Monoconical Standard | Monoconical S250 | Target Standard |
|----------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Biconical Standard | x | | | | | |
| Biconical S250 | 1.000 | x | | | | |
| Biconical Turquoise | 0.999 | 0.999 | x | | | |
| Monoconical Standard | 0.005** | 0.006** | 0.015* | x | | |
| Monoconical S250 | 0.022* | 0.027* | 0.062 | 0.996 | x | |
| Target Standard | <0.001*** | <0.001*** | <0.001*** | <0.001*** | <0.001*** | x |

* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; *** : $p < 0.001$

4.1.1.2. Performance of devices baited with the POCA blend of attractants at Molé Kotou (Banwa province)

It was necessary to change field sites for the experiment with treatments baited with the POCA blend of attractants because tsetse flies densities strongly decreased at Montionkuy during the trial with the unbaited trapping devices (Figure 3, with the white dots representing the medians, and the black columns representing the quantiles).

Figure 3: Daily mean catch variation of *G. p. gambiensis* at Montionkuy



Densities at the new location (Molé Koutou) were however low, even lower than at Montionkuy, with catches ranging from 0.53 flies/trap/day for the monoconical trap in blue cotton/polyester (treatment E) to 8.31 flies/trap/day for the target (Figure 4). The same tendencies as for the comparison of the unbaited devices were observed with the target fairing best, followed by the biconical traps and then by the monoconical traps. Although the biconical trap in cotton/polyester blue (treatment R) was not significantly different from the monoconical in the standard blue cotton (treatment T) its catches were 1.5 times greater. Fly captures on the target were much higher than the other treatments and all significant ($p < 0.001$; Table 2). There was no difference between males and females although there were 1.7 times more males than females on the target.

Figure 4: Daily mean captures of *G. p. gambiensis* by baited trapping devices at Molé Kotou (Banwa province)

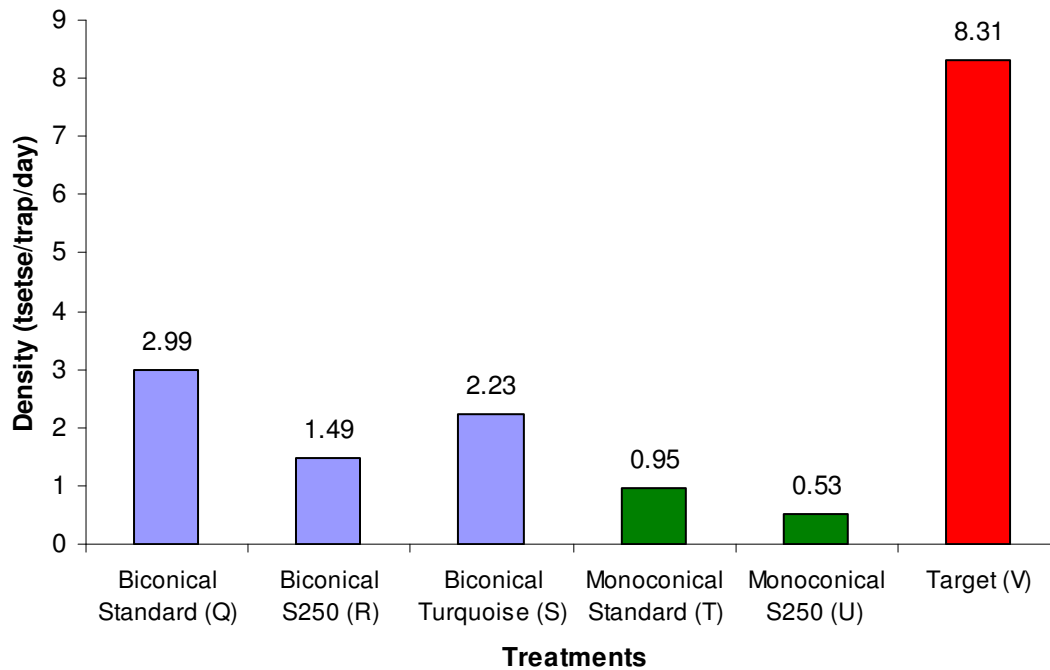


Table 2: Level of significance between the baited trapping devices for *G. p. gambiensis* at Molé Kotou (Banwa province)

| Treatment | Biconical Standard | Biconical S250 | Biconical Turquoise | Monoconical Standard | Monoconical S250 | Target Standard |
|----------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Biconical Standard | x | | | | | |
| Biconical S250 | 0.080(*) | x | | | | |
| Biconical Turquoise | 0.824 | 0.660 | x | | | |
| Monoconical Standard | 0.001 ** | 0.707 | 0.047 * | x | | |
| Monoconical S250 | <0.001 *** | 0.059(*) | <0.001 *** | 0.714 | x | |
| Target Standard | <0.001 *** | <0.001 *** | <0.001 *** | <0.001 *** | <0.001 *** | x |

* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; *** : $p < 0.001$

4.1.1.3. The effects of the POCA blend of attractants on trapping device performance

Since the comparison between unbaited and baited systems was not done simultaneously, it is not straightforward to say how many times the POCA improved the catches of the devices in absolute terms. That can only be estimated in considering the different systems as an entity, and not individually. When calculating catch indices of baited and unbaited devices, and calculating their respective ratios, one could eventually measure the effects of the POCA blend on trapping device performance. The index is expressed as the ratio of the catch of a device divided by catch of another device considered as the control. Here we will first

calculate the indices of all unbaited devices (Table 3) and then the indices for the baited devices (Table 4). In a second step, the ratio between the 2 indices (indices of baited devices/indices of unbaited devices) is done and it represents the level at which the POCA improved the performances of a system compared to what it was when unbaited.

Table 3: Capture indices for *G. p. gambiensis* by unbaited devices at Montionkuy (Banwa province)

| Treatment | Biconical Standard | Biconical S250 | Biconical Turquoise | Monoconical Standard | Monoconical S250 | Target Standard |
|----------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Biconical Standard | 1 | 0.98 | 0.91 | 0.34 | 0.41 | 7.94 |
| Biconical S250 | 1.02 | 1 | 0.93 | 0.35 | 0.41 | 8.10 |
| Biconical Turquoise | 1.10 | 1.08 | 1 | 0.38 | 0.45 | 8.75 |
| Monoconical Standard | 2.91 | 2.85 | 2.64 | 1 | 1.18 | 23.10 |
| Monoconical S250 | 2.46 | 2.41 | 2.23 | 0.85 | 1 | 19.52 |
| Target Standard | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.04 | 0.05 | 1 |

The numbers in blue background indicate the best indices between unbaited devices

From Table 3, one can see that the target caught 8 to 23 times more flies than the biconical trap in standard blue cotton and the monoconical in the same material, while biconical traps in any type of material caught 2.2 - 2.9 times more flies than the monoconical traps.

With the POCA mixture added (Table 4) the different catch indices of the target compared to the other devices decreased substantially when compared to what it was without the attractant. In contrast, the indices for the biconical traps increased, apart from the one in blue cotton/polyester material when compared to the biconical in turquoise blue but not significantly.

Table 4: Capture indices for *G. p. gambiensis* by baited devices at Molé Kotou (column/line)

| Treatment | Biconical Standard | Biconical S250 | Biconical Turquoise | Monoconical Standard | Monoconical S250 | Target Standard |
|----------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Biconical Standard | 1 | 0.5 | 0.75 | 0.32 | 0.18 | 2.78 |
| Biconical S250 | 2.01 | 1 | 1.50 | 0.64 | 0.36 | 5.58 |
| Biconical Turquoise | 1.34 | 0.67 | 1 | 0.43 | 0.24 | 3.73 |
| Monoconical Standard | 3.15 | 1.57 | 2.35 | 1 | 0.56 | 8.75 |
| Monoconical S250 | 5.64 | 2.81 | 4.21 | 1.79 | 1 | 15.68 |
| Target Standard | 0.36 | 0.18 | 0.27 | 0.11 | 0.06 | 1 |

The numbers in blue background indicate the best indices between baited devices

The ratio of numbers in Table 4 (baited systems) compared to the ones of Table 3 (unbaited systems) represents the effect of the POCA blend of attractants on the trapping device performance. From these ratios (Table 5) the biconical traps in standard phthalogen blue cotton and in turquoise blued cotton/polyester, and the monoconical in standard blue cotton are the devices that benefited most from the addition of the POCA blend, with scores from 1.5 to 3. The POCA did not improve the target catches since all ratios are below 1.

Table 5: Estimation of the impact of the POCA blend of attractants on the different devices for trapping *G. p. gambiensis* at Montionkuy and Molé Kotou (column/line)

| Treatment | Biconical Standard | Biconical S250 | Biconical Turquoise | Monoconical Standard | Monoconical S250 | Target Standard |
|----------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Biconical Standard | 1 | 0.51 | 0.82 | 0.92 | 0.44 | 0.35 |
| Biconical S250 | 1.97 | 1 | 1.62 | 1.82 | 0.86 | 0.69 |
| Biconical Turquoise | 1.22 | 0.62 | 1 | 1.13 | 0.53 | 0.43 |
| Monoconical Standard | 1.08 | 0.55 | 0.89 | 1 | 0.47 | 0.38 |
| Monoconical S250 | 2.29 | 1.17 | 1.88 | 2.12 | 1 | 0.8 |
| Target Standard | 2.86 | 1.45 | 2.35 | 2.64 | 1.25 | 1 |

The numbers in blue background indicate the best effect induced by the POCA

4.1.1.4. Comparison of landings on the two portions of the target

Whether the target was baited or not, *G. p. gambiensis* preferred to land rather on the black cloth than on the blue portion of the target. Although these differences were not significant, there were 1.44 and 1.6 more tsetse on the black, respectively, for both the unbaited and baited target (Table 6), with the difference almost reaching significance for females on the black portion of baited targets ($p=0.06$). Adding the POCA did not significantly modify the percentage of flies landing on the different cloth colours.

Table 6: Daily mean captures of *G. p. gambiensis* on the two portions of the target in Banwa province

| | Unbaited target | | | Baited target | | |
|--------------|-----------------|------------|------------|---------------|-----------|-----------|
| | Males | Females | Total | Males | Females | Total |
| Blue (n=18) | 5.07±1.6 | 7.19±1.25 | 12.5±1.43 | 2.01±1.12 | 1.00±0.78 | 2.94±1.27 |
| Black (n=18) | 5.24±0.9 | 11.88±0.72 | 18.08±0.63 | 2.74±1.29 | 1.88±0.68 | 4.70±1.1 |
| p | 0.493 | 0.222 | 0.618 | 0.288 | 0.064 | 0.15 |

4.1.2. Trials in the Comoé

Four tsetse fly species were caught at this location, in order of importance *G. tachinoides*, *G. m. submorsitans*, *G. p. gambiensis* and *G. medicorum*. Only *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis*, the two riverine species, we considered in this study.

4.1.2.1. Trials without addition of the POCA blend of attractants to the trapping devices

4.1.2.1.1. Captures of *Glossina tachinoides*

The daily mean captures ranged from 14 tsetse flies/trap/day for the monoconical trap in standard blue cotton to 145 tsetse flies/trap/day for the target (Figure 5). The performance of the different devices can be divided into 3 groups:

- the target with catches up to 145 tsetse flies/trap/day was significantly better than the 5 others treatments ($p < 0.001$, Table 7), with capture indices up to 4-5 fold more when compared to the biconical traps, and up to 9-10 fold more when compared to the monoconical traps (Table 8).
- the biconical traps with captures of around 30 tsetse flies/trap/day, all greater than the monoconical traps ($P < 0.05$), except for the difference between the biconical in standard blue cotton and the monoconical in cotton/polyester blue..
- the monoconical traps with daily mean captures of around 15 tsetse flies/trap/day.

There were more female than male flies caught, with for both the monoconical traps and the target, respectively, 1.7 and 1.8 times more females than males caught.

Figure 5: Daily mean catches of *G. tachinoides* by unbaited trapping devices at Folonzo (Comoé province)

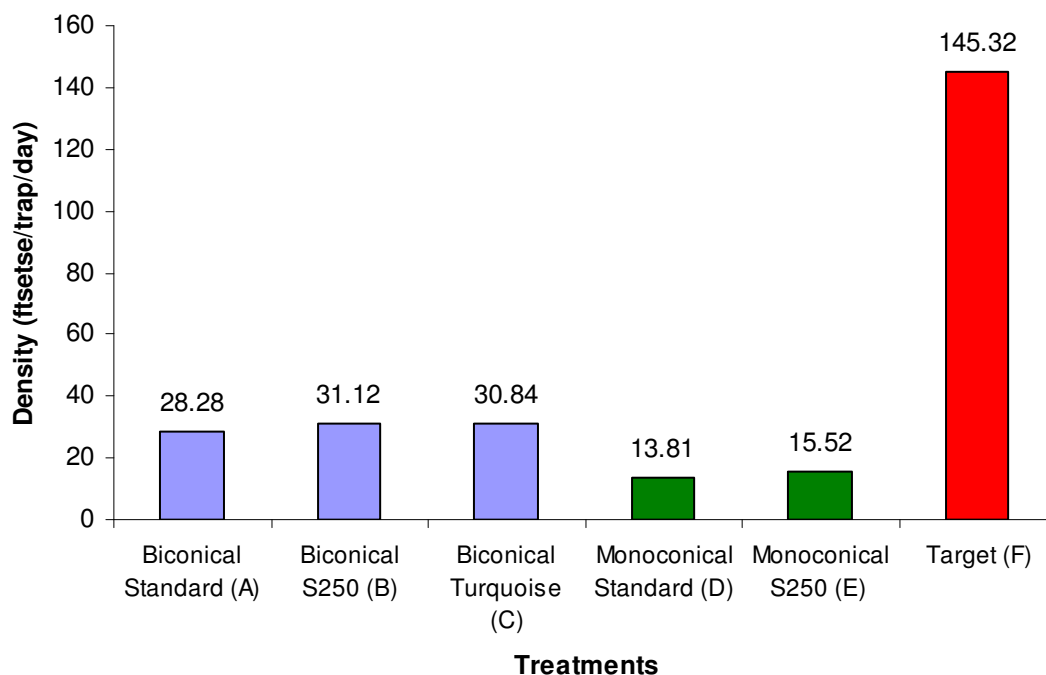


Table 7: Level of significance between the unbaited trapping devices for *G. tachinoides* at Folonzo

| Treatment | Biconical Standard | Biconical S250 | Biconical Turquoise | Monoconical Standard | Monoconical S250 | Target Standard |
|----------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Biconical Standard | x | | | | | |
| Biconical S250 | 0.970 | x | | | | |
| Biconical Turquoise | 0.976 | 1.000 | x | | | |
| Monoconical Standard | 0.050* | 0.005** | 0.006** | x | | |
| Monoconical S250 | 0.168 | 0.024* | 0.028* | 0.995 | x | |
| Target Standard | <0.001*** | <0.001*** | <0.001*** | <0.001*** | <0.001*** | x |

* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; *** : $p < 0.001$

Table 8: Capture indices for *G. tachinoides* by unbaited trapping devices at Folonzo (column/line)

| Treatment | Biconical Standard | Biconical S250 | Biconical Turquoise | Monoconical Standard | Monoconical S250 | Target Standard |
|----------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Biconical Standard | 1 | 1.18 | 1.17 | 0.53 | 0.59 | 5.53 |
| Biconical S250 | 0.84 | 1 | 0.99 | 0.44 | 0.50 | 4.67 |
| Biconical Turquoise | 0.85 | 1.01 | 1 | 0.45 | 0.50 | 4.71 |
| Monoconical Standard | 1.9 | 2.25 | 2.23 | 1 | 1.12 | 10.52 |
| Monoconical S250 | 1.69 | 2.01 | 1.99 | 0.89 | 1 | 9.36 |
| Target Standard | 0.18 | 0.21 | 0.21 | 0.1 | 0.11 | 1 |

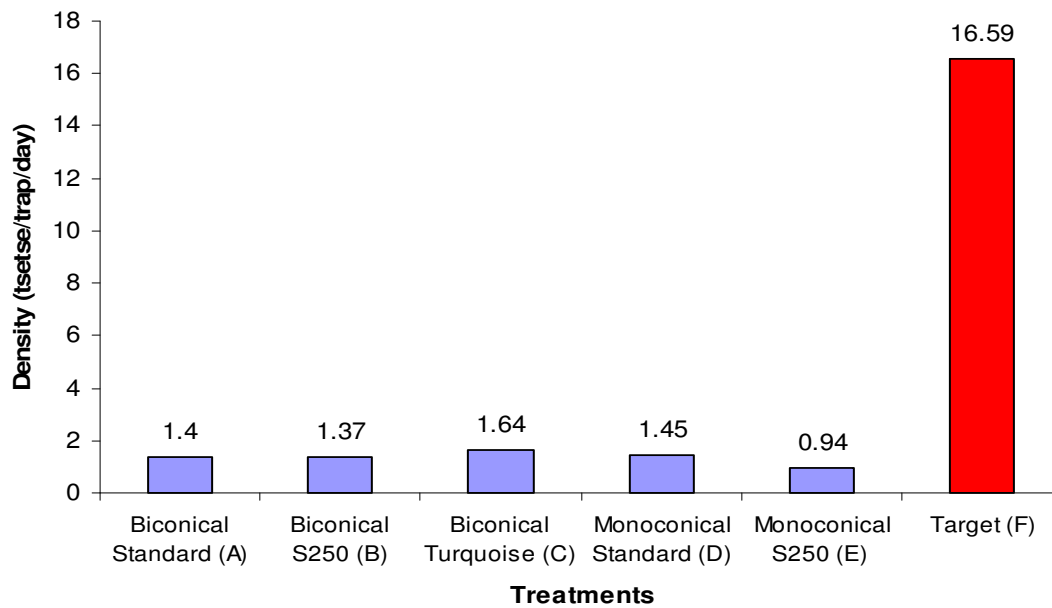
The numbers in blue background indicate the best indices between unbaited devices

4.1.2.1.2. Captures of *G. p. gambiensis*

Densities were low for this species at Comoé with the target capturing 16.59 flies/trap/day, while for all the remaining devices captures were 1-1.5 flies/trap/day (Figure 6).

The treatments can be divided in two groups, the first constituted of the target with fly captures higher than for the other treatments ($p < 0.001$) and the second group constituted of the different trap types with no difference between them.

Figure 6: Daily mean captures of *G. p. gambiensis* by unbaited trapping devices at Folonzo (Comoé province)



4.1.2.2. Performance of devices baited with the POCA blend of attractants at Folonzo

4.1.2.2.1. Catches of *G. tachinoides*

The densities of *G. tachinoides* obtained when the trapping devices were baited with the POCA blend of attractants ranged from 4.1 flies/trap/day for the monoconical trap in cotton/polyester blue material, to 323 tsetse/trap/day for the target (Figure 7).

Figure 7: Daily mean captures of *G. tachinoides* by baited trapping devices at Folonzo (Comoé Province)

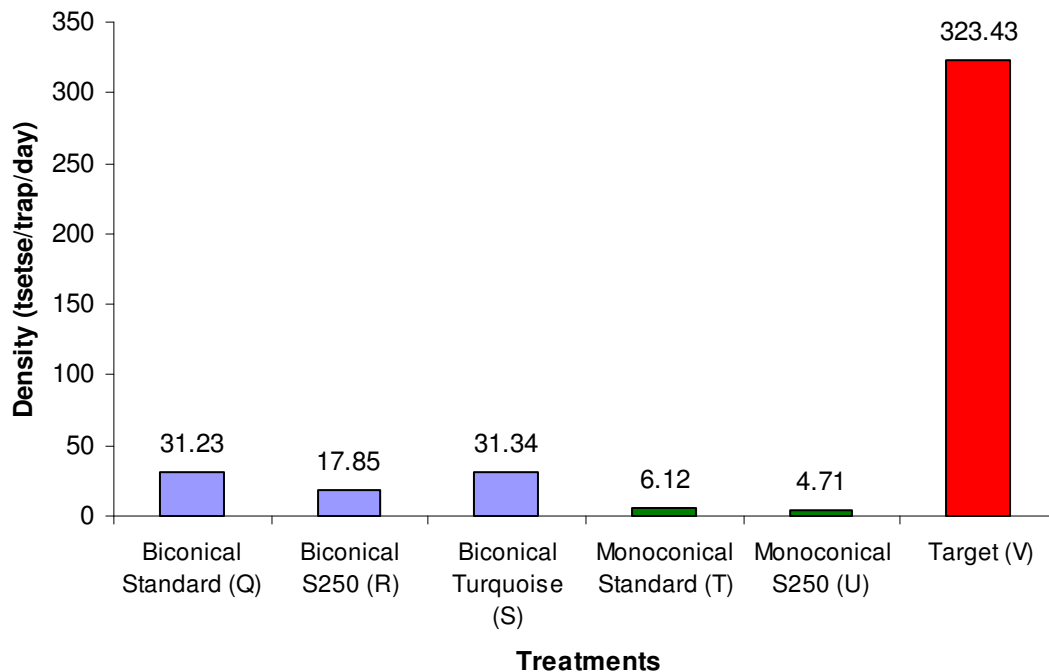


Table 9: Significance level between the baited trapping devices for *G. tachinoides* at Folonzo

| Treatment | Biconical Standard | Biconical S250 | Biconical Turquoise | Monoconical Standard | Monoconical S250 | Target Standard |
|----------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Biconical Standard | x | | | | | |
| Biconical S250 | 0.062(*) | x | | | | |
| Biconical Turquoise | 1.000 | 0.059(*) | x | | | |
| Monoconical Standard | <0.001 *** | <0.001 *** | <0.001 *** | x | | |
| Monoconical S250 | <0.001 *** | <0.001 *** | <0.001 *** | 0.853 | x | |
| Target Standard | <0.001 *** | <0.001 *** | <0.001 *** | <0.001 *** | <0.001 *** | x |

*: $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; *** : $p < 0.001$

On the basis of the minimum significance level of 0.5, the treatments can be divided in 3 groups in decreasing order of fly capture, just like the results for the treatments without the POCA blend, i.e. the target followed by the biconical and the monoconical traps. The target catches were highly different from the traps ($p < 0.001$) and within the trap types, the biconical trap captures were also highly different from the monoconical captures ($p < 0.001$; Table 9). The target capture indices varied from 10 to 18, compared to the biconical traps and from 53 to 70 compared to the monoconical traps (Table 10). Biconical traps in standard blue cotton and in turquoise blue cotton/polyester showed the same performance and caught up to 5 times more than the monoconical trap in standard blue and up to 7 times more than the monoconical in cotton/polyester blue. At a lower difference level, the biconical trap in cotton/polyester blue material caught 3 times more than the monoconical trap in standard blue and 4 times more than the one in cotton/polyester.

Table 10: Capture indices for *G. tachinoides* by baited trapping devices at Folonzo (column/line)

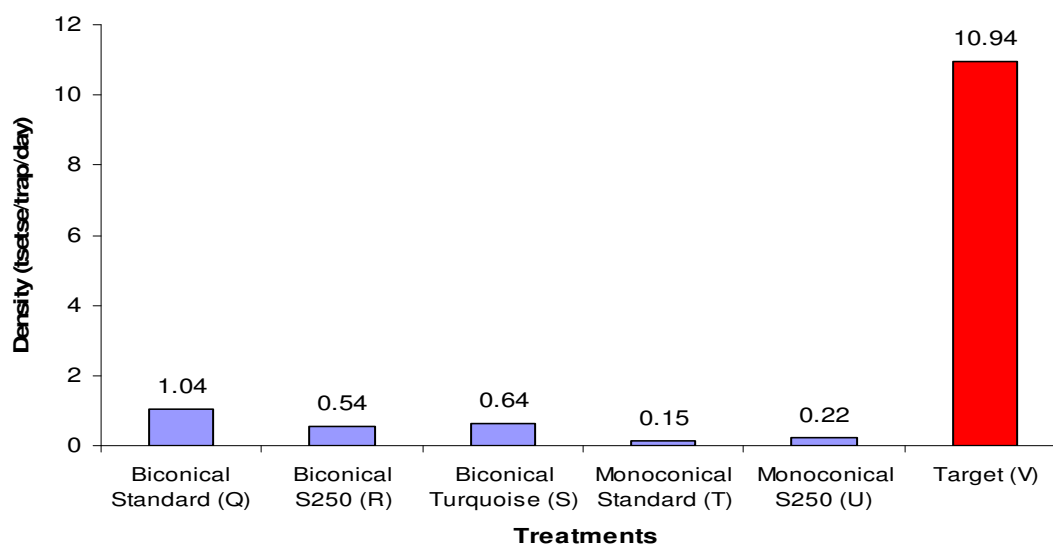
| Treatment | Biconical Standard | Biconical S250 | Biconical Turquoise | Monoconical Standard | Monoconical S250 | Target Standard |
|----------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Biconical Standard | 1.00 | 0.57 | 1.00 | 0.20 | 0.15 | 10.36 |
| Biconical S250 | 1.75 | 1.00 | 1.76 | 0.34 | 0.26 | 18.12 |
| Biconical Turquoise | 1.00 | 0.57 | 1.00 | 0.20 | 0.15 | 10.32 |
| Monoconical Standard | 5.10 | 2.92 | 5.12 | 1.00 | 0.77 | 52.85 |
| Monoconical S250 | 6.63 | 3.79 | 6.65 | 1.30 | 1.00 | 68.67 |
| Target Standard | 0.10 | 0.06 | 0.10 | 0.02 | 0.01 | 1.00 |

The numbers in blue background indicate the best indices between baited devices

4.1.2.2.2 Catches of *G. p. gambiensis*

Catches remained low for *G. p. gambiensis* with POCA-baited trapping devices and, apart from the target with mean captures of 11 flies/trap/day, all the other treatments catches were around 1 tsetse/trap/day (Figure 8). In contrast to *G. tachinoides* for which there were more females than males, the proportion of males was up to 70% for *G. p. gambiensis*.

Figure 8: Daily mean captures of *G. p. gambiensis* by baited trapping devices at Folonzo (Banwa province)



4.1.2.3. . The effects of the POCA blend of attractants on trapping device performance at Folonzo (Comoé)

The ratios (indices of baited trapping devices/indices of unbaited trapping devices) for the two species are presented in Tables 11 and 12 for *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis*. For *G. tachinoides*, the target and the biconical traps in standard blue cotton and in turquoise blue cotton/polyester improved their performances by 2 fold or more when compared to the biconical blue cotton/polyester and to the monoconical traps of either type.

Table 11: Estimation of the effect of the POCA blend of attractants on *G. tachinoides* captures by trapping devices (column/line)

| Treatment | Biconical Standard | Biconical S250 | Biconical Turquoise | Monoconical Standard | Monoconical S250 | Target Standard |
|----------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Biconical Standard | 1.00 | 0.48 | 0.86 | 0.37 | 0.26 | 1.87 |
| Biconical S250 | 2.07 | 1.00 | 1.77 | 0.77 | 0.53 | 3.88 |
| Biconical Turquoise | 1.17 | 0.56 | 1.00 | 0.44 | 0.30 | 2.19 |
| Monoconical Standard | 2.68 | 1.29 | 2.29 | 1.00 | 0.68 | 5.02 |
| Monoconical S250 | 3.92 | 1.89 | 3.35 | 1.46 | 1.00 | 7.33 |
| Target Standard | 0.53 | 0.26 | 0.46 | 0.20 | 0.14 | 1.00 |

The numbers in blue background indicate the best effect induced by the POCA

For *G. p. gambiensis*, the performance of all other trapping devices were improved when compared to the monoconical traps. Thus, the biconical traps in standard blue cotton improved its catch index by factors up to 7 and 3 fold, respectively, when compared to the monoconical in standard blue cotton and in blue cotton/polyester (Table 12). The biconical traps in turquoise blue and blue cotton/polyester, respectively, improved their performances up to 3.81 and 3.77 fold compared to the monoconical in standard blue cotton. Of note is the performance of the monoconical trap in blue cotton/polyester of 2.26 times more than that of the monoconical in standard blue and that of the target of up to 6.37 and 2.82 fold, respectively, compared to the monoconical traps in standard blue cotton or blue cotton/polyester.

Table 12: Estimation of the impact of the POCA bend of attractants on the different devices for trapping *G. p. gambiensis* at Folonzo (column/line)

| Treatment | Biconical Standard | Biconical S250 | Biconical Turquoise | Monoconical Standard | Monoconical S250 | Target Standard |
|----------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Biconical Standard | 1.00 | 0.53 | 0.53 | 0.14 | 0.32 | 0.89 |
| Biconical S250 | 1.88 | 1.00 | 0.99 | 0.26 | 0.59 | 1.67 |
| Biconical Turquoise | 1.90 | 1.01 | 1.00 | 0.27 | 0.60 | 1.69 |
| Monoconical Standard | 7.18 | 3.81 | 3.77 | 1.00 | 2.26 | 6.37 |
| Monoconical S250 | 3.17 | 1.68 | 1.67 | 0.44 | 1.00 | 2.82 |
| Target Standard | 1.13 | 0.60 | 0.59 | 0.16 | 0.35 | 1.00 |

The numbers in blue background indicate the best effect induced by the POCA

4.1.2.2.4. Comparison of the blue and black portions of the target

For the unbaited target as well as for the baited one, more *G. tachinoides* landed on the blue than on the black (Table 13). Although the difference was not significant for the unbaited target, it was significant for the POCA with a ratio blue/black up of 1.7 ($P < 0.05$). The same tendency was observed with *G. p. gambiensis* (Table 14) but the differences were not significant, due to the low fly densities.

Table 13: Daily mean captures of *Glossina tachinoides* on the two portions of the target

| | Unbaited target | | | Baited target | | |
|--------------|-----------------|------------|------------|---------------|-------------|-------------|
| | Mâles | Femelles | Total | Mâles | Femelles | Total |
| Blue (n=18) | 28.57±1.92 | 43.05±1.97 | 73.11±1.93 | 57.78±1.08 | 129.52±0.83 | 188.57±0.9 |
| Black (n=18) | 20.63±2.23 | 46.30±2.22 | 67.16±2.29 | 29.29±1.28 | 79.54±1.34 | 112.23±1.20 |
| <i>p</i> | 0.499 | 0.721 | 0.978 | 0.011* | 0.045* | 0.023* |

Table 14: Daily mean captures of *Glossina p. gambiensis* on the two portions of the target

| | Unbaited target | | | Baited target | | |
|--------------|-----------------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| | Mâles | Femelles | Total | Mâles | Femelles | Total |
| Blue (n=18) | 4.61±1.40 | 4.24±1.57 | 9.18±1.41 | 4.02±0.8 | 1.26±1.14 | 5.61±0.93 |
| Black (n=18) | 3.01±1.44 | 3.84±1.93 | 7.20±1.99 | 2.6±1.53 | 1.58±1.73 | 4.56±1.6 |
| <i>p</i> | 0.221 | 0.812 | 0.681 | 0.643 | 0.172 | 0.589 |

4.2. Determination of the efficiency of traps (experiment 2)

For *G. p. gambiensis* in Kartasso in the Kéné Dougou province (Table 15) there is a significant difference between sticky devices (target, biconical trap and monoconical trap) with respective daily mean catches of 23.5, 30.8, 18.45 and the simple devices (biconical trap and monoconical trap), with catches of 5.93 and 3.59 ($p < 0.001$). No differences were found within devices of the same category (sticky or non sticky). However, for the sticky devices, the biconical trap caught more than the target that, in turn, caught more than the monoconical trap. For the non sticky devices, the biconical trap was superior to the monoconical trap.

Table 15: Detransformed daily mean catches of *G.p.gambiensis* by different trapping devices at Kartasso

| Treatment | Males | Females | Total |
|------------------------|--------|---------|--------|
| Sticky Target (A) | 9.23 | 13.62 | 23.49 |
| Biconical (B) | 2.03 | 3.20 | 5.93 |
| Sticky biconical (C) | 12.43 | 16.99 | 30.77 |
| Monoconical (D) | 1.05 | 2.24 | 3.59 |
| Sticky monoconical (E) | 7.36 | 10.83 | 18.45 |
| <i>n</i> | 15 | 15 | 15 |
| <i>p</i> | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <i>sed</i> | 0.0763 | 0.109 | 0.0899 |

The performance of each device compared to the other ones using catch indices is indicated on the Table 16. From this, one can easily deduce that for biconical and monoconical traps, the ratios of sticky/simple devices are 5.2 and 5.1. In other words, the efficiency of both the biconical and monoconical devices as traps is only about 20% of the total number of tsetse attracted.

Table 16: Catch indices for the different trapping devices for *G. p. gambiensis* at Kartasso (column/line)

| | Sticky Target | Biconical | Sticky biconical | Monoconical | Sticky monoconical |
|--------------------|---------------|-----------|------------------|-------------|--------------------|
| Sticky Target | 1.00 | 0.25 | 1.31 | 0.15 | 0.79 |
| Biconical | 3.96 | 1.00 | 5.19 | 0.61 | 3.11 |
| Sticky biconical | 0.76 | 0.19 | 1.00 | 0.12 | 0.60 |
| Monoconical | 6.54 | 1.65 | 8.57 | 1.00 | 5.14 |
| Sticky monoconical | 1.27 | 0.32 | 1.67 | 0.19 | 1.00 |

The trend in fly captures was the same for *G. tachinoides* in Folonzo albeit at higher densities (Table 17). Here again there was a significant difference between sticky devices and non sticky devices ($p < 0.001$). However, within sticky devices, a difference was found between the biconical trap and the monoconical trap, with catch index of 2 ($p < 0.01$). As for *G. p. gambiensis*, the sticky biconical trap attracted more than the target that, in turn, attracted more than the monoconical trap. For the non sticky devices, the biconical trap caught more than the monoconical trap with a catch index of 3.83 time higher (Table 18).

Table 17: Detransformed daily mean catches of *G. tachinoides* by different trapping devices at Folonzo

| Treatment | Males | Females | Total |
|------------------------|--------|---------|--------|
| Sticky target (A) | 55.49 | 107.89 | 165.34 |
| Biconical (B) | 13.66 | 28.51 | 43.26 |
| Sticky biconical (C) | 85.10 | 124.31 | 212.80 |
| Monoconical (D) | 3.31 | 7.71 | 11.30 |
| Sticky monoconical (E) | 45.77 | 58.29 | 105.91 |
| n | 20 | 20 | 20 |
| p | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| sed | 0.0856 | 0.0985 | 0.0921 |

Table 18: Catch indices for the different trapping devices for *G. tachinoides* at Folonzo (column/line)

| | Sticky Target | Biconical | Sticky biconical | Monoconical | Sticky monoconical |
|--------------------|---------------|-----------|------------------|-------------|--------------------|
| Sticky Target | 1.00 | 0.26 | 1.29 | 0.07 | 0.64 |
| Biconical | 3.82 | 1.00 | 4.92 | 0.26 | 2.45 |
| Sticky biconical | 0.78 | 0.20 | 1.00 | 0.05 | 0.50 |
| Monoconical | 14.63 | 3.83 | 18.83 | 1.00 | 9.37 |
| Sticky monoconical | 1.56 | 0.41 | 2.01 | 0.11 | 1.00 |

The ratio sticky biconical to simple biconical trap is 4.92 for *G. tachinoides*, so quite similar to that for *G. p. gambiensis* of 5.19. For the monoconical traps the ratio of sticky to simple device for *G. tachinoides* is 9.37. So for both the biconical trap and the monoconical trap at most 20% of flies attracted entered the cage, showing the poor efficiency of these devices for trapping flies.

4.3. Effect of the shiny film on device performances (experiment 3)

For *G. p. gambiensis* at Kartasso, (Table 19), the shiny blue/black target caught significantly less flies than the simple matt target, with an index of shiny/matt of 0.64 ($p = 0.01$). One can conclude that the shiny material reduces target attractiveness somewhat. However, the effect varied according to the coloured section of the target considered. For the blue portion the shiny blue caught many more flies than the matt blue, with an index of 3.5 for pooled data ($p < 0.001$) and indices of 2.53 and 4.57, respectively, for males and females. On the black portions, the inverse was observed: for both males as for females, the shiny black portion of the target caught 5 times less flies than the matt one ($p < 0.001$).

Table 19: Detransformed daily mean catches of *G. p. gambiensis* by a matt target (A) and shiny target (B) at Kartasso

| | Blue | | | Black | | | Whole target | | |
|-------------|-------|---------|-------|-------|--------|-------|--------------|---------|-------|
| | Male | Females | Total | Male | Female | Total | Male | Females | Total |
| A (n=20) | 1.14 | 1.19 | 2.25 | 6.79 | 8.46 | 15.9 | 8.12 | 9.79 | 18.54 |
| B (n=20) | 2.89 | 5.45 | 7.89 | 1.67 | 1.76 | 3.4 | 4.71 | 6.58 | 11.94 |
| Index (B/A) | 2.53 | 4.57 | 3.50 | 0.25 | 0.21 | 0.21 | 0.58 | 0.67 | 0.64 |
| P | 0.004 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.005 | 0.033 | 0.01 |
| sed | 0.081 | 0.031 | 0.093 | 0.064 | 0.066 | 0.065 | 0.066 | 0.068 | 0.639 |

The same tendency was observed for *G. tachinoides* in Folonzo, for shiny and matt targets (Table 20). The shiny target attracted on average 26.10 flies per day and the matt one attracted 46.75, giving a ratio of shiny target/matt target of 0.64. This means that the matt target is almost twice as attractive as the shiny one.

However, as for *G. p. gambiensis*, the attractiveness varied according to the colour of the material. For the blue portion of the target the attractiveness did not change whether it was shiny or matt (daily mean of 14.03 for matt versus 14.38, for the shiny), whereas the matt black portion of the targets attracted 3 times more flies than the shiny portion (21.65 versus 6.57; $p < 0.001$).

Table 20: Detransformed daily mean catches of *G. tachinoides* by matt target (A) and shiny target (B) at Folonzo

| | Blue | | | Black | | | Whole target | | |
|-------------|-------|---------|-------|-------|--------|-------|--------------|---------|-------|
| | Male | Females | Total | Male | Female | Total | Male | Females | Total |
| A (n=20) | 5.37 | 8.51 | 14.03 | 8.68 | 21.65 | 31.36 | 15.03 | 30.77 | 46.75 |
| B (n=20) | 5.55 | 8.66 | 14.38 | 3.12 | 6.57 | 10.02 | 9.54 | 16.10 | 26.10 |
| Index (B/A) | 1.03 | 1.02 | 1.03 | 0.36 | 0.30 | 0.32 | 0.63 | 0.52 | 0.56 |
| P | 0.895 | 0.935 | 0.901 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.03 | 0.002 | 0.005 |
| sed | 0.086 | 0.081 | 0.081 | 0.092 | 0.095 | 0.094 | 0.078 | 0.076 | 0.076 |

5. Discussion

The shape of the lures

The shape issue can be considered in two steps. In experiment 1 where the target was the only device covered with the sticky material this led to a superiority (sometimes up to 50 fold) of this device compared to traps. In experiment 2, when traps were also covered with the sticky material it turned out that the biconical traps always attracted slightly more flies than the target (differences not significant). This observation applied for both *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides* where the ratio sticky biconical/sticky target was up to 1.3 fold or more and for both sexes. The fact that the target attracted more than the biconical trap in experiment 1 is due to the presence of the sticky material. This material allows to catch the totality of flies

landing on the target while only few (20%) of the flies landing on the biconical trap entered the cage (see paragraph on device efficiency below).

What could explain such superiority of the biconical trap over the target? Since the trap is round, it can be readily seen from any angle by the approaching tsetse flies, while the target is out of sight when its face is vertical to the line of flight of a fly.

In addition, in experiment 1, regarding the catch indices of the targets (index <10 at low densities and up to 50-60 when densities are high), we may conclude that at low densities target performance seems to decrease compared to traps. This was also noted by Laveissière *et al.* (1981). If this is true one may consider starting a control campaign using targets to decrease fly densities, then replace targets by traps or add traps to targets to maximise efficiency at low densities. Sciaretta *et al.* (2005) already proposed such a deployment in Ethiopia for residual pockets of flies after the initial population reduction.

Among the three-dimensional devices, the biconical traps (all types of material tested) performed better than the monoconical traps. Similar observations were already made by Amsler *et al.* (1984) when comparing different types of traps. However, one should be cautious, since trapping indices can change according to season and species.

The influence of the type and colour of the trapping device materials

From the different field trials, it can be seen that the standard 100% phthalogen blue cotton appears to be best for capturing *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides*, followed by the turquoise blue cotton/ polyester and then the phthalogen blue cotton/polyester. Our standard blue is phthalogen blue, which was already recorded as the attractive blue (Green, 1990). This finds its explanation in the sensitivity of tsetse fly photoreceptor cells to particular parts of the light spectrum. According to Green (1988), the performances of different types of cloth for *G. p. palpalis* could be explained by their reflectivity in 3 spectral regions visible to tsetse, and the reflectivity in the blue region of the light spectrum was positively correlated to trap captures, while reflectivity in the ultra-violet was negatively correlated. There may be a factor specific to each material that induces the tsetse, not only to approach a device, but also to land. On the other hand, a study by Laveissière *et al.* (1987) showed a relation between the strength of the reflectivity in the near UV (300 – 400 nm) and in the blue (400 – 500 nm) of a fabric and the number of tsetse flies captured. According to the latter authors, the higher the reflectivity is in the blue part of the spectrum the higher the captures. So if one only considers reflectivity as a critical factor for attractiveness, the best material should be phthalogen blue cotton/polyester, followed by the standard phthalogen blue cotton, and then the turquoise blue according to the different reflectivity spectra presented on Figure 1. However, other parameters such as colour contrast (Green, 1990), the quality of light, light filtration by clouds and dust, or maybe tsetse population physiological and biological variation patterns may also play a role (Laveissière *et al.* 1987). If one combines other factors such as price, insecticide retention, colour fastness, and environmental considerations we can rank the standard phthalogen blue cotton as the best material for trapping devices. This material has not only proved its stability during the first year of weathering, but also as cotton is biodegradable, trapping devices could even be left in field in the case it is found that it is cost effective to do so, instead of investing in collecting them.

Effect of baiting the trapping devices with the POCA blend of attractants

The best ratios obtained in terms of catch improvements with the POCA for the riverine species found in this work was around 2.5 for *G. p. gambiensis* and 4 for *G. tachinoides* with the biconical trap. This confirms previous results in the same areas for these two species (Rayaisse, 2010; AIEA, 2003). The different indices obtained in Banwa province and in

Comoé province for *G. p. gambiensis* are not so different from what was obtained in trials described in the previous chapter (Chapter 5), confirming the relevancy of the methodology we used for the calculation of the catch index. However, for *G. p. gambiensis* in Folonzo, one should be cautious concerning such promising scores (up to 7), as the densities of this species were low at this location.

Landing behaviour: Comparison of black and blue

It is well known that the blue (the phthalogen blue in particular) is very attractive (Green, 1990; Mérot and Filledier, 1989). This colour also seems to induce good landing response, considering the proportion of flies trapped on the blue portion of targets. At Folonzo for *G. tachinoides* for both males and females, 52 and 48% of flies landed, respectively, on the blue and the black portions of the target while for the baited targets, it was 63 and 37%. For *G. p. gambiensis* at Folonzo the percentages were 56 and 44%, respectively, on the blue and the black cloth of the unbaited target, and 55 and 45% for the baited one. More tsetse flies were caught on the blue than on the black cloth for both *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* at Folonzo, whether the target was baited or not. For *G. p. gambiensis*, however, the proportions were reversed in Banwa province, where 40 and 60% for the baited trial, respectively, of flies landed on the blue and black portions of the unbaited target in Montionkuy and 38 and 62%, respectively, at Mollé Kotou. Laveissière *et al.* (1987) working on *G. p. palpalis* also found in Ivory Coast with a blue/black target that 70% landed on the black and 30% on the blue. Obviously, habitat seems to play a role in the landing responses of tsetse on the different cloth colours more than the species involved or the use of attractant bait. The noticeable difference between the Folonzo and Solenzo sites is that the sites at Folonzo are more open with sunlight passing through the vegetation while the Montionkuy and Molé Kotou sites in the Banwa province are somewhat closed and dark. Such habitat differences may play a role in the difference recorded in fly behaviours.

The effect of the film on landing

From the experiments where electric nets were used to count flies approaching targets that were treated with and without shiny film, it is clear that the shiny sticky film in itself did not affect the attractiveness of the target. If anything, it serves to reduce catches somewhat. This means that we are near a reliable recording of the propensity of the trapping devices to cause landing by flies and that the counts are not leading to any unfounded bias in our conclusions. However, the shiny film increases landing on the blue cloth, while it reduces that one the black. With the shiny target in Folonzo, respectively, 58 and 42% *G. tachinoides* landed on the blue and the black cloth, while for the matt target, the proportions were 31 and 69% ($p < 0.001$ between same colours). For *G. p. gambiensis* in Kartasso on the shiny target the percentages were respectively, 70 and 30% for blue and black cloths and 12 and 88% respectively for the matt target. These proportions are valid for both males and females ($p < 0.001$). It is not clear what these findings mean in terms of the sensory physiology of tsetse flies.

Trap efficiency

Comparing the sticky traps to the non sticky ones has enabled us to establish an estimate of the real efficacy of the traps as trapping devices. For both the biconical and monoconical traps, less than 20% of the flies attracted to these devices are actually caught. This confirms similar values reported earlier by Rayaisse *et al.* (2010) for these species (*G. p. gambiensis* and *G. tachinoides*) using electric grids.

These findings have different consequences regarding trap use:

- When insecticide-impregnated traps are used for control purposes the implications of the current findings are limited since all tsetse that land with the trap will be killed due to contact with the insecticide.

- When traps are used for monitoring purposes as, for example to measure the effects of a control campaign, their use may contribute to error if the correction factor regarding their efficacy is not applied to trap captures, i.e. flies captures in a trap constitute less than 20% of those present around the device.

A recent estimate has measured the efficacy of unbaited biconical trap to be 1%, i.e. a trap will catch one tsetse out of 100 present per square kilometer (Bouyer *et al.*, 2010). Hence a recommendation arising from this work would be to use either traps baited with attractants or targets coated with sticky films for monitoring purposes to fully exploit the efficiency of such tools when assessing residual tsetse fly populations. Such a recommendation has already been taken into account by a control programme aimed at eradicating *G. p. gambiensis* on Loos Islands, Guinea (M. Camara and P. Solano., personal communication)

References

- Amsler S., Filledier J., Millogo R. 1994. Efficacité comparée de différents pièges pour la capture de *Glossina tachinoides* (Diptera : Glossinidae) au Burkina Faso. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **47** (2) : 207 – 214.
- Bouyer J., Seck M. T., Sall B., Ndiaye E.Y., Guerrini L. Vreysen M. J. B. 2010. Stratified entomological sampling in preparation for an area-wide integrated pest management program: The example of *Glossina palpalis gambiensis* (Diptera: Glossinidae) in the Niayes of Senegal. *Journal of Medical Entomology*, **47**(4): 543-552; DOI: 10.1603/ME09149.
- Challier A. Laveissiere C. 1973. Un nouveau piège pour la capture des glossines (Glossina: Diptera, Muscidae): description et essais sur le terrain. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **11**: 251-262.
- Challier A. 1976. Ecology of *Glossina palpalis gambiensis* Vanderplank, 1949. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **29**: 131-140.
- Cuisance D., Politzar H., Merot P., Tamboura I., 1984. Les lâchers de mâles irradiés dans la campagne de lutte intégrée contre les glossines dans la zone pastorale de Sidéradougou (Burkina Faso). *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **37**(4) : 449-467.
- Filledier J. Mérot P. 1989. Etude de l'attractivité de solutions isolées par fractionnement de l'urine de bovin Baoulé pour *Glossina tachinoides* Westwood, 1850 au Burkina Faso. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **42**: 453-455.
- Filledier J., Duvallet G., Merot P. 1988. Comparison of the attractive power of Zebu and Baoule cattle for *Glossina tachinoides* Westwood, 1850 and *Glossina morsitans morsitans* Newstead, 1910 in Sudano-Guinean savanna, Burkina Faso. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **41**: 191-196.
- Gouteux J. P., Challier A., Laveissière C. 1981. Modifications et essais du piège à glossines (Diptera : Glossinidae). *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **19**:87-89.
- Green C. H. 1990. Landing behaviour. Annual Report 1989. Bristol ODA and Univ. Bristol 32676 (25-27).
- Green C. H. 1988. The effect of colour on trap and screen-orientated responses in *Glossina palpalis* (Robineau-Desvoidy) (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **78**:591-604.
- International Atomic Energy Agency. 2003. Improved attractants for enhancing tsetse fly suppression. IAEA-TECDOC-1373, 121pp.
- Kappmeier K., Neville. M. 1999. Evaluation of coloured targets for attraction of *Glossina brevipalpis* and *Glossina austeni* (Diptera: Glossinidae) in South Africa. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, **66**: 291-305.

- Laveissière C., Grébaud P. 1990. Recherches sur les pièges à glossines (Diptera: Glossinidae). Mise au point d'un modèle économique: Le piège « Vavoua ». *Tropical Medicine and Parasitology*, **41**: 185- 192.
- Laveissière C., Couret D., Manno A. 1987. Importance de la nature des tissus dans la lutte par piégeage contre les glossines. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **25**(3-4):133 - 143.
- Laveissière C., Couret D. 1981. Essai de lutte contre les glossines riveraines à l'aide d'écrans imprégnés d'insecticides. Rapport IRD N°20/IRTO/RAP/81.
- Mérot P., Filledier J. 1989. Résultats de recherches sur les écrans pour la lutte contre *Glossina tachinoides* en zone de savane soudano-guinéenne (Burkina Faso). *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **42** (4) : 545 – 550.
- Mohamed-Ahmed M. M., Mihok S. 2009. Alighting of Tabanidae and muscids on natural and simulated hosts in the Sudan. *Bulletin of Entomological Research*, **99**:561–571. doi:10.1017/S0007485309006580.
- Ndegwa P. N., Mihok S. 1999. Development of odour – baited traps for *Glossina swynnertoni* (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **89**: 255 – 261.
- Rayaisse J. B., Tirados I., Kaba D., Dewhirst S. Y., Logan J. G., Diarrassouba A., Salou E., Omolo M., Solano P., Lehane M. J., Pickett J. A., Vale G. A., Torr S. J., Esterhuizen J. 2010. Prospects for the development of odour baits to control the tsetse flies *Glossina tachinoides* and *G. palpalis* s.l. *Plos Neglected Tropical Diseases*, **4**(3): e632. doi:10.1371/journal.pntd.0000632
- Sciarretta A., Girma M., Tikubet G., Belayehun L., Ballo S., Baumgärtner J. 2005. Development of an adaptive tsetse population management scheme for the Luke community, Ethiopia. *Journal of Medical Entomology*, **42**(6):1006-19.
- Vale G. A., Hargrove J.W. 1979. A method of studying the efficiency of traps for tsetse flies (Diptera: Glossinidae) and other insects. *Bulletin of Entomological Research*, **69**:183-193.
- Vale G. A. 1993. Visual responses of tsetse flies (Diptera: Glossinidae) to odour-baited targets. *Bulletin of Entomological Research*, **83**:277-289.

Chapter 7: General discussion

Effects of odour attractants on trapping device performance

Results obtained in the different trials show consistency: Irrespective of field site (at Folonzo or at Solenzo) and years (from 2003 to 2010) the POCA blend of attractants was always the best combination of chemicals for the *palpalis* group tsetse studied here, i.e. *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis*. This has already been established for *morsitans* and *fusca* group tsetse fly species (Torr *et al.*, 1989). It has, however, to be noted that the increases in fly capture for traps used for tsetse species of the *morsitans* group are by a factor of 10 when the POCA blend is added (Vale *et al.*, 1988; Dransfield *et al.*, 1986), whereas for *palpalis* group tsetse species, and particularly for *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides* the trap catch increases are, respectively, by factors of 2, and 3-4 (Torr and Solano, 2010; Rayaisse *et al.*, 2010). For *G. tachinoides*, such improvements had already been described (IAEA, 2003; Amsler *et al.*, 1994), whereas for *G. p. gambiensis* the improvements described in this thesis are the best obtained to date. However, across the different experiments (Chapters 3, 4 and 5), it occurred that the POCA blend sometimes increased by a factor of 4 fold or more, catches of *G. tachinoides* in the biconical trap at Folonzo. For *G. p. gambiensis*, the highest index obtained during our studies was 2.9 at Solenzo.

What could explain such the different effects of the POCA blend of semiochemicals on the different tsetse fly groups?

- One factor could be the release rate of the different chemicals of the POCA blend linked to the thickness of the sachet used as dispenser. In the past, the polyethylene sachets used at CIRDES were of 0.15mm thick walls, while we used 0.13 mm thick-walled sachets here. Dimensions of the dispensers used have also been variable. For instance, while Amsler *et al.* (1994) used a sachet of 12 cm by 5 cm for 4 ml of 3-n-propyl phenol, 1-octen-3-ol and p-cresol (POC), we used 5cm by 5cm sachets containing 2 ml of the same mixture of chemicals. In addition, acetone can be dispensed either with a wick or from a hole at the top of a bottle and so influence the release rate. The colour of the bottle used for the acetone (A) component of the POCA blend could also influence its evaporation. Furthermore, there is a particular problem when comparing the responses to the same odours by different species. Studies have generally tested unnaturally high doses of odour for tsetse and it has been shown that varying the dose of chemicals can render them more attractive, ineffective or repellent (Vale and Hall, 1985; Vale *et al.*, 1988). Thus quantitative and qualitative differences in the olfactory responses of different species of Diptera, and particularly of tsetse flies, may simply reflect the use of inappropriate doses of odour (Gibson and Torr, 1999).
- The numbers of replicates and tsetse fly densities (high or low) can also affect the application of a robust or weak statistical analysis and so reveal or conceal significant differences. This is particularly true for tsetse species of the *palpalis* group, in particular *G. palpalis s.l.* which occur at sustained low densities thus rendering statistical calculations difficult. It is for this reason that the latin square design was applied in all field trials in this study. Let us remind ourselves that these low persistent densities are very dangerous for human and animal trypanosomosis transmission.
- To conclude on the methodology issue, and as indicated in Gibson and Torr (1999), the biases and limitation of various trapping devices could complicate valid comparisons, and supposed differences within species or between species may simply reflect differences in experimental protocols. Such factors could apply for work

carried out in East and West Africa where the same types of trapping devices are not used in field trials.

One important thing we should highlight is the variability of the response of the tsetse species studied to the POCA blend of attractants. This is quite important for workers who will undertake experiments in the future. This also certainly explains why it has been so difficult to find literature from West Africa and more precisely on the Palpalis group tsetse species on this subject. Many workers have been discouraged by the variability in results obtained with attractants and hence did not publish their results (C. Laveissière, personal communication). Throughout the different trials undertaken with the POCA at the different sites (Folonzo and Solenzo), seasons and tsetse species, *G. tachinoides* or *G. p. gambiensis*, it occasionally happened that the use of the POCA did not necessarily lead to catch improvements compared to the control (unbaited trap), although it did so on most occasions. Some of the factors affecting attractant performance could include the following. The season, with all the factors directly linked and influenced by it (temperature, humidity) have an overriding impact on the chemicals release rate and dispersion of the “background” odours present in nature (Vale, 1988). Such factors may induce a modification in the responses from tsetse flies. Also, when wind exceeds a maximum air speed for tsetse it can limit the insect’s ability to make a directed response. Equally, and possibly more commonly, wind affects the olfactory cues available to a tsetse fly responding to host products and variations in wind speed can affect the structure of odour plumes and hence the strength of an olfactory signal (Murlis and Jones, 1981). To conclude, in addition to what is listed above, the types of targets or traps and the quality of their material can also contribute (see below) to build a circumstantial behavioural response for tsetse to baited lures.

Attractivity of whole host odour versus single host odour compounds for G. tachinoides and G. p. gambiensis

During the trials described in this work, natural odours from cattle improved catches of *G. tachinoides* by the biconical trap, while both human and cattle odours significantly improved catches of *G. p. gambiensis*. In the past, Filledier *et al.* (1989) also found that whole host odour or odour from host urine significantly improved catches of *G. tachinoides* in the biconical trap. Harraca *et al.* (2009) showed that rumen fluid is attractive to hungry *Glossina pallidipes* in a wind tunnel. However, the synthetic equivalent of host odour does not always induce the same response from tsetse and, for instance, natural ox odour caught twice as many *G. pallidipes* and 1.5 as many *G. morsitans morsitans* as the synthetic blend, suggesting the presence of unidentified attractants in ox odour (Torr *et al.*, 1995). In our case, dealing with single host chemicals, apart from 3- and 4-methylphenol that were already known as tsetse fly attractants (Filledier and Mérot, 1989), only benzaldehyde and 3-ethylacetophenone showed catch indices of up to 2.5 for *G. p. gambiensis*, but these were not significant. The question is why none of the new compounds identified from the host improved tsetse fly responses to the biconical trap, while it is clear that whole host odour was attractive. A first explanation could be that pertinent chemicals that act as attractants in whole natural host odour may not be among the chemicals tested individually in the field. Concerning odour isolation two types of filters were used, i.e. Porapak for components with high boiling points and Tenax for the more volatile products. The chemicals tested here in the field are ones captured with Porapak, so the less volatile ones. This means that volatile chemicals such as acetone and other unidentified chemicals that could improve tsetse fly responses were missing from our analysis. Vale and Hall (1985) compared a charcoal filter used for less than 6h and then replaced it with an aged filter in which the charcoal had been used for 6-40h. They noted that the new filter trapped all known attractants apart from carbon dioxide and that the aged one trapped the less volatile semiochemicals such as phenols and 1-octen-3-ol, while allowing

more volatile materials such as acetone to pass. Unfortunately, charcoal filters were not used in this study (see Chapter 4). Also, Torr *et al.* (1995) showed for *G. pallidipes*, that passing ox odour through a charcoal filter reduced the catch by 10-20% but not significantly. Passing the ox odour through a soda-lime filter reduced the catch by 40-50% ($p < 0.025$), to a level significantly greater than the one obtained with no ox odour ($p < 0.05$ for both sexes), and this was certainly due to the fact the soda-lime traps the carbon dioxide.

Shape of the lures (two-dimensionnal versus three-dimensional trapping devices)

Previous studies already reported that targets as well as traps can serve to reduce to very low density tsetse fly population densities within a short period (Cuisance *et al.*, 1984; Laveissière *et al.*, 1981 a and b). The choice between using targets or traps should take in account some practical and financial factors:

- a target is at least 4 times cheaper to construct than a trap (Laveissière and Grébaud, 1990)
- when tsetse densities are high, both targets and trap are attractives
- traps are more effective than targets when tsetse densities are low (Experiment 1, Chapter 6)
- the interplay between visual and olfactory components of trapping devices is more visible with a trap than with a target when densities are low (Experiment 1, Chapter 6).

Since the target is 4 times cheaper than the trap it could be used as a “first line” tool to reduce tsetse densities. Once fly densities are reduced, traps could then be used, with attractants if necessary. In this case, one could consider use of the POC blend (a 1:4:8 mixture of 3-n-propylphenol, 1-octen-3-ol and 4-methylphenol) since it has been shown in this study that this blend may be as effective as the POCA blend (Rayaisse *et al.*; 2010). The POC blend of attractants is already being used by the National Pattec Program in Burkina Faso (Issa Sidibé, personal communication). Targets could be also be deployed at high numbers per unit area to reduce fly densities at identified hot spots within a zone after the initial population density reduction (Sciarretta *et al.*, 2005).

Comparison of trap types for Palpalis group flies

The experiments we carried out showed that the biconical trap performed better than the monoconical in capturing both *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides*. Comparing the biconical trap to the monoconical gave a trapping ratio of biconical/monoconical of 1.5 for *G. p. gambiensis* in Kartasso and of 3.5 for *G. tachinoides* in Folonzo. However, it has to be remembered that Amsler *et al.* (1994) established at Folonzo for both *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis* that from February to March both traps had the same efficiency, while from April to May (the hottest period) the biconical trap was the best. Were tsetse at the hottest period looking for a refuge from the heat and preferred to gain access to the biconical trap which affords more protection due to its volume? On the other hand, Gouteux and Lancien (1986) found in the Congo that the monoconical trap is better than the biconical trap for *G. f. quanzensis* and *G. p. palpalis*. The general observation is that the monoconical trap is best adapted for Palpalis group tsetse living in savannah or degraded forest habitats such as *G. p. palpalis* and *G. f. quanzensis* and the biconical trap is the device of choice for the riverine species *G. tachinoides* and *G. p. gambiensis*. In terms of prices, the monoconical trap is cheaper because of its smaller size (~2/3 the price of the biconical trap; Dagnogo and Gouteux, 1985).

Comparing these biconical and monoconical devices revealed that tsetse flies adapt their behaviour according to the type of trap. With the biconical trap, while 65 – 85% of attracted flies landed on the device, only 10 – 55 % did so on the monoconical trap. Based on this one

may conclude that the biconical trap is more suited for control purposes when impregnated with an insecticide and the monoconical trap is more suitable for surveillance. Using the sticky tape on these traps showed that both are relatively inefficient in trapping flies. However, trap efficiency is not what is critical in the case of control with insecticide-impregnated devices. A device such as the biconical trap is attractive and since flies land on it, they will be killed even they may not enter into the trap.

Another aspect to be underlined concerns the practicality of the sticky film. This proved a very useful tool for the determination of trap efficiency and may be more suitable than the electric grid for this purpose for the following reasons:

- as indicated in Chapter 4, a flanking electric grid used to evaluate flies flying to the trap or in its vicinity can lead to an underestimation since the electric grid can kill flies that would have otherwise entered the trap.
- the sticky film is more practical and does not require the logistics such as safety measures, batteries, electricity generator, transformer and the necessary transport facilities for this bulky and heavy field equipment to quite often remote field locations.

Colour and quality of the material

The colours most attractive to tsetse flies have been studied in detail for over two decades (Laveissière, 1987; Green, 1988 and 1990). Phthalogen blue is the most attractive colour and adding a black substrate as a contrast improves tsetse landing responses (Green and Flint, 1986). However, the quality of the material used to carry the phthalogen blue pigment is a crucial issue and the advantage of the standard phthalogen blue cotton we used during our trials is its colour fastness, with the added advantage of it being biodegradable.

Conclusions

Vector control is the most sustainable way to reduce the impact of both sleeping sickness and animal African trypanosomosis and use of insecticide-impregnated traps or targets is a main component of tsetse vector control (Cuisance *et al.*, 1984; Sciarretta *et al.*, 2005). The POCA blend of semiochemicals is the best attractant we found for *G. p. gambiensis* and *G. tachinoides* from our field trials. Constraints in the use of the POCA blend is the fact that:

- it only increases the efficacy of the biconical trap by a factor of 2 to 4, and one can ask the question whether a 2-fold increase in trap catch (as in the case of *G. p. gambiensis*) with the POCA warrants the deployment of attractants.
- the cost of some of its components in particular 3-n-popylphenol,
- the fact that the phenol components of the POCA blend are toxic,
- and the regular maintenance of acetone bottles that are required to release this volatile host odour component at some 5 mg/hour over extended periods of time.

All these factors contribute to explain why the POCA blend has not been widely used in tsetse control campaigns despite the fact that it is already known for quiet some time as being the best attractant for savannah group tsetse. Let's suppose that the identification of cheap attractants improves the performance of baits by 2-4 fold for riverine species, then the question arises as to whether the effort to detect flies at low population densities is cost effective, compared to the cost of case detection and treatment with active medical surveys conducted several times to establish low decreases in prevalence.

Concerning the quality of the materials used for traps and targets, we noted in our study that phthalogen blue in 100% cotton constitutes a reliable material for tsetse control. However, nowadays, cotton/polyester material is widely used in Africa certainly due to its cost, hence the need of standardization of the different tools in tsetse flies studies. In many cases, relevant comparison of results cannot be done simply because the materials used are not the same. While investigations for cost effective attractants are ongoing, traps and targets, when used in

an adaptive way according to the tsetse flies densities and other factors (vegetation), can constitute a viable option for the control of riverine tsetse. Eventually, other methods like treatment of cattle with insecticide may be associated.

References

- Amsler S., Filledier J., Millogo R. 1994. Attractifs olfactifs pour la capture de *Glossina tachinoides* et *Glossina morsitans submorsitans* (Diptera : Glossinidae) au Burkina Faso. Effet de la position du sachet diffuseur dans le piège biconique Challier – Laveissière. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **47**:301-311.
- Cuisance D., Politzar H., Merot P., Tamboura I. 1984. Les lâchers de mâles irradiés dans la campagne de lutte intégrée contre les glossines dans la zone pastorale de Sidéradougou (Burkina Faso). *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **37**(4) : 449-467.
- Dagnogo M., Gouteux J. P. 1985. Comparaison de différents pièges à tsé-tsé (Diptera, Glossinidae) en Côte d'Ivoire et au Congo. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux*, **38**(4):371-378.
- Dransfield R. D., Brightwell R., Chaudry M. F., Golder J. K., Tarimo S. A. R. 1986. The use of odour attractants for sampling *Glossina pallidipes* Austen (Diptera: Glossinidae) at Nguruman, Kenya. *Bulletin of Entomological Research*, **76**: 607 – 619.
- Filledier J., Mérot P. 1989. Etude de l'attractivité de solutions isolées par fractionnement de l'urine de bovin Baoulé pour *Glossina tachinoides* Westwood, 1850 au Burkina Faso. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays tropicaux*, **42**: 453-455.
- Gibson G., Torr S. J. 1999. Visual and olfactory responses of haematophagous Diptera to host. *Medical and Veterinary Entomology*, **13**: 2-23.
- Gouteux J. P., Lancien J. 1986. Le piège pyramidal à tsé-tsé (Diptera: Glossinidae) pour la capture et la lutte. Essais comparatifs et description de nouveaux systèmes de capture. *Tropical Medicine and Parasitology*, **37**:61-67.
- Green C. H. 1990. Landing behaviour. Annual Report 1989. Bristol ODA and Univ. Bristol 32676 (25-27).
- Green C. H. 1988. The effect of colour on trap and screen-orientated responses in *Glossina palpalis* (Robineau-Desvoidy) (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research*, **78**: 591-604.
- Green C. H., Flint S. 1986. An analysis of colour effects in the performance of the F2 trap against *Glossina pallidipes* Austen and *Glossina morsitans morsitans* Westwood (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological research*, **76**: 409-418.
- Harraca V., Syed Z., Guerin. P. M. 2009. Olfactory and behavioural responses of tsetse flies, *Glossina spp.*, to rumen metabolites. *Journal of Comparative Physiology*, **195**: 815-824.
- International Atomic Energy Agency (2003). Improved attractants for enhancing tsetse fly suppression. IAEA-TECDOC-1373, 121pp.
- Laveissière C., Grébaud P. 1990. Recherches sur les pièges à glossines (Diptera: Glossinidae). Mise au point d'un modèle économique: Le piège « Vavoua ». *Tropical Medicine and Parasitology*, **41**: 185-192.
- Laveissière C., Couret D., Manno A. 1987. Importance de la nature des tissus dans la lutte par piégeage contre les glossines. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **25**: 133-143.
- Laveissière C., Couret D. 1981a. Lutte contre les glossines riveraines à l'aide de pièges biconiques imprégnés d'insecticide en zone de savane. Expérimentation à grande échelle. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **19**(1):41-48.
- Laveissière, C. et Couret, D., 1981b. Essai de lutte contre les glossines riveraines à l'aide d'écrans imprégnés d'insecticide. *Cahiers ORSTOM. Série Entomologie Médicale et Parasitologie*, **19**(4): 271-283.
- Murlis J., Jones C. D. 1981. Fine-scale structure of odour plumes in relation to insect orientation to distant pheromone and other attractant sources. *Physiological Entomology*, **6**:71-86.

- Rayaisse J. B., Tirados I., Kaba D., Dewhirst S. Y., Logan J. G., Diarrassouba A., Salou E., Omolo M., Solano P., Lehane M. J., Pickett J. A., Vale G. A., Torr S. J., Esterhuizen J. 2010. Prospects for the development of odour baits to control the tsetse flies *Glossina tachinoides* and *G. palpalis s.l.* *Plos Neglected Tropical Diseases*, **4**(3): e632. doi:10.1371/journal.pntd.0000632.
- Sciarretta A., Girma M., Tikubet G., Belayehun L., Ballo S. Baumgärtner J. 2005. Development of an adaptive tsetse population management scheme for the Luke community, Ethiopia. *Journal of Medical Entomology*, **42**(6):1006-19.
- Torr S. J., Solano P. 2010. Olfaction in *Glossina*-host interactions: a tale of two tsetse. In Olfaction in vector hosts interactions: Ecology and control of vector borne diseases, vol. 2, chap 12, 265-289. *Eds B. Knols & W. Takken, Wageningen University, Netherlands*, 437 pp.
- Torr S. J. 1989. The host-oriented behaviour of tsetse flies (*Glossina*): the interaction of visual and olfactory stimuli. *Physiological Entomology*, **14**: 325-340.
- Vale G. A., Hall D. R., Gough A. J. E. 1988. The olfactory responses of tsetse flies, *Glossina* spp. (*Diptera: Glossinidae*), to phenols and urine in the field. *Bulletin of Entomological Research*, **78**: 293-300.
- Vale G. A., Hall D. R. 1985. The role of 1-octen-3-ol, acetone and carbon dioxide in the attraction of tsetse flies, *Glossina* spp. (*Diptera: Glossinidae*), to ox odour. *Bulletin of Entomological Research*, **75**: 209-217.