Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Band: 92 (2010-2011)

Heft: 3-4

Artikel: Les Chalcidiens (Hymenoptera, Chalcidoidea) associés au genre Ficus spp. (Moracee) du Sénégal : répartition, abondance et diversité

Autor: Kebe, Khadim / Alvarez, Nadir / Thiaw, Cheikh

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-284228

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 92.3: 137-152 ISSN 0037-9603

Les Chalcidiens (Hymenoptera, Chalcidoidea) associés au genre *Ficus* spp. (Moracee) du Sénégal: répartition, abondance et diversité.

par

Khadim KEBE[1, 2 *], *Nadir ALVAREZ*[2], *Cheikh THIAW*[3] & *Mbacké SEMBENE*[1]

Résumé.–KÉBÉ K., ALVAREZ N., THIAW C. & SEMBENE M., 2011. Les Chalcidiens (Hymenoptera, Chalcidoidea) associés au genre *Ficus* spp. (Moracee) du Sénégal: répartition, abondance et diversité. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 92.3: 137-152.
Cette étude est la première portant sur la biodiversité écologique des Chalcidiens associés au genre *Ficus* au Sénégal. Sur les 26 espèces de figuiers signalées au Sénégal, 11 ont été trouvées. Chaque espèce de *Ficus* possède une microfaune Chalcidienne caractéristique. La comparaison des niveaux d'infestation révèle une différence très significative entre espèces de *Ficus* ($P < 0.0001$). Les figues de *F. sycomorus* du domaine Nord-Soudanien sont, en valeurs absolues, plus infestées que celles des domaines Sud-Soudanien et Soudanien Atlantique. Les tests statistiques révèlent une différence d'infestation non significative des figues de *F. sycomorus* entre les 3 domaines ($P > 0.05$). Cependant, entre le domaine Nord-Soudanien et le domaine Soudanien Atlantique, cette différence est significative ($P = 0.0091$).

Mots clés: Ficus spp, Chalcidiens, abondance, diversité, domaine climatique, Sénégal

Abstract.–KÉBÉ K., ALVAREZ N., THIAW C. & SEMBENE M., 2011. Chalcid Wasps associated with the genus *Ficus* spp. (Moracee) in Senegal: repartition, abundance and diversity. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 92.3: 137-152.
This study is the first focusing on the ecological biodiversity of Chalcid Wasps associated with the genus *Ficus* in Senegal. Among 26 species of fig trees described in Senegal, 11 were found. Every species of *Ficus* demonstrates a characteristic fig wasps microfauna. Comparison of the levels of infestation revealed a highly significant difference among *Ficus* species ($P < 0.0001$). The figs of the *Ficus sycomorus* of the North-Sudanese domain are, in absolute values, more infested than those of the South-Sudanese and Sudanese Atlantic domains. The statistical tests revealed a non-significant difference in infestation of figs of *F. sycomorus* between the 3 domains ($P > 0.05$). However, between the North-Sudanese domain and the Sudanese Atlantic, this difference is significant ($P = 0.0091$).

Keywords: *Ficus* spp, fig wasps, abundance, diversity, climatic domain, Senegal

[1]Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et techniques, UCAD, B.P. 5005, Dakar, Sénégal.
*Auteur de correspondance: khadim.kebe@unil.ch; bambasoda@yahoo.fr
[2]Département d'Ecologie et d'Evolution, Faculté de Biologie et de Médecine, Biophore, Université de Lausanne, CH -1015 Lausanne, Suisse.
[3]CERAAS-ISRA, BP 3320 route de Khombole, Thiès, Sénégal.

CODEN: BSVAA6
2011 © Société vaudoise des Sciences naturelles
Droits de reproduction réservés

INTRODUCTION

Le genre *Ficus* avec ses 800 espèces décrites au niveau mondial est de loin le genre le plus important en termes de richesse spécifique au sein des Moracées (CORNER 1962). C'est également un des quatre genres de dicotylédones les plus riches en espèces. Les Chalcidiens associés aux figues présentent une distribution circumtropicale, avec environ 640 espèces décrites dans le monde. D'après des estimations récentes, cela représente 20-30% du nombre total de Chalcidiens associés aux figuiers (VAN NOORT & RASPLUS 2005); en d'autres termes, il reste encore à décrire 1300 à 2600 espèces, dont 700-1000 espèces (pour seulement 230 espèces décrites) dans la région afro-tropicale (VAN NOORT & RASPLUS 1997). Dans une perspective écologique, la plupart des Chalcidiens associés aux figuiers sont phytophages, bien que l'on rencontre également des espèces inquilines ou parasitoïdes. Les phytophages écorchent l'ovule pour fournir une ressource de nourriture pour le développement de leurs larves (VAN NOORT & RASPLUS 2005). L'interaction entre les figuiers et leurs pollinisateurs a depuis longtemps été étudiée comme un modèle classique de mutualisme spécifique et obligatoire de pollinisation. Il implique très généralement une espèce de pollinisateur et une espèce de figuier et ceci pour les 800 espèces de figuiers connues (WEIBLEN 2002). La pollinisation des figuiers est effectuée par des Chalcidiens agaonides (Agaonidae), qui se reproduisent dans les figues ; chaque espèce de *Ficus* a sa propre espèce de pollinisateur. C'est un cas de mutualisme obligatoire car le figuier ne peut être pollinisé sans son pollinisateur et ce dernier ne peut se reproduire en dehors de son figuier. L'étude de ce mutualisme obligatoire permet notamment d'investiguer les processus de coévolution et de comprendre comment les histoires évolutives des espèces impliquées se façonnent réciproquement. Les figuiers et leurs Chalcidiens associés représentent un exemple de coévolution relativement strict puisque, bien que les phylogénies ne soient pas encore parfaitement résolues, les *Ficus* apparentés ont en général des pollinisateurs apparentés (WIEBES 1979, JOUSSELIN *et al.* 2003). Cependant, dans un certain nombre de cas, la relation plante-pollinisateur devient une relation plante-prédateur de graines dans laquelle le nombre de fleurs pollinisées par le partenaire est inférieur à la quantité de fleurs lui étant sacrifiées; la frontière séparant le mutualisme de parasitisme est alors bien ténue (WEIBLEN & BUSH 2002).

Hormis son pollinisateur spécifique, chaque figuier est associé à un ensemble de Chalcidiens non-pollinisateurs (VAN NOORT 2004). Ces faunules peuvent être très diversifiées en Afrique; un individu de *F. thonningii* peut abriter jusqu'à 30 espèces (KERDELHUÉ 1997). De même que le pollinisateur, ces espèces dépendent strictement d'un figuier spécifique. Elles se développent dans les fleurs des figues mais comme elles ne les pollinisent pas, elles sont considérées comme des parasites du mutualisme (JOUSSELIN *et al.* 2001). Excepté *Ceratosolen galili* (COMPTON *et al.* 1991), ces espèces n'appartiennent pas à la famille des Agaonidae pollinisateurs.

Cet ensemble diversifié de guêpes non-pollinisatrices concurrence les pollinisateurs pour l'utilisation des ressources de la figue, et celles-ci, parfois, attaquent les larves des pollinisateurs dans la figue et affaiblissent ainsi le mutualisme. A la différence des pollinisateurs, certains parasites de figues attaquent même les fleurs en perçant l'extérieur du réceptacle avec leur long ovipositeur. Le genre *Apocryptophagus* Ashmead par exemple induit le développement anormal des ovaires de figues, affectant négativement le mutualisme (WEIBLEN & BUSH 2002).

Cependant, alors que les pollinisateurs sont connus chez environ 70% des espèces de figuiers afro-tropicales (WIEBES & COMPTON 1990), les espèces parasites sont extrêmement mal connues. D'un point de vue taxinomique le terme «guêpe de figue» (qui comprend les Chalcidiens pollinisateurs et parasites) inclut des représentants de cinq familles (Agaonidae, Pteromalidae, Ormyridae, Eurytomidae, et Torymidae) (VAN NOORT & RASPLUS 2005). Les guêpes de figue étaient précédemment toutes incluses dans la famille des Agaonidae, qui comprenait les six sous-familles Agaoninae, Epichrysomallinae, Otitesellinae, Sycoryctinae, Sycoecinae, et Sycophaginae (BOUCEK 1988). De récentes investigations moléculaires ont montré que la famille des Agaonidae est paraphylétique (VAN NOORT 2004). Les Sycoecinae, Otitesellinae, et Sycoryctinae ont été attribuées à la famille Pteromalidea, laissant seulement les guêpes pollinisatrices de figues (ainsi que *C. galili* Wiebes) dans les Agaonidae (RASPLUS *et al.* 1998). Les rapports phylogénétiques des deux sous-familles restantes (Sycophaginae et Epichrysomallinae) sont encore mal définis, même si aujourd'hui elles ne sont pas incluses dans les Agaonidae (VAN NOORT 2004).

Les Chalcidiens associés aux figuiers (ou sycophiles) n'ont jamais fait l'objet d'une étude au Sénégal malgré leur importance écologique. L'objectif de ce travail est donc de présenter la microbiocénose entomologique des figuiers du Sénégal et de réaliser une étude aussi exhaustive que possible d'un ensemble de Chalcidiens sycophiles liés à des espèces de figuiers au Sénégal. Pour cela, nous avons mené des études comparatives à des altitudes et dans des domaines variés et analysé nos données à la lumière des questions de systématique, d'écologie et de biogéographie.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cadre géographique

Le Sénégal se trouve à l'extrême ouest du continent africain au bord de l'océan Atlantique, entre 12°00 et 16°30 de latitude Nord et 11°30 et 17°30 de longitude Ouest. Le Sénégal est un pays sahélien ; l'altitude dépasse rarement 40 mètres à l'exception de quelques points accidentés (par exemple, falaise de Thiès, collines de Kédougou). Il est traversé par cinq domaines climatiques (SAGNA 2000):

- le domaine de l'alizé maritime stable compris entre les isohyètes 300 et 600 mm; il s'étend sur l'axe Mbour-Saint Louis englobant toutes les Niayes;
- le domaine sahélien, correspondant à la zone sylvo-pastorale et à une partie du bassin arachidier; la pluviométrie varie entre 300 et 700 mm;
- le domaine nord-soudanien avec une pluviométrie variant entre 700 et 1000 mm; ce domaine couvre une partie du bassin arachidier ainsi que toute la région de Tambacounda à l'exception du département de Kédougou;
- le domaine sud-soudanien, couvrant la Casamance et le département de Kédougou; la pluviométrie varie entre 1000 et 1400 mm ;
- le domaine soudanien atlantique, couvrant l'axe Thiès-Ziguinchor avec une pluviométrie comprise entre 600 et 1400 mm.

Echantillonnage des figues

Les Chalcidiens étudiés ont été collectés dans des figues provenant de 22 localités différentes. Ces localités se répartissent dans trois des cinq domaines climatiques présents au Sénégal: Nord-Soudanien, Soudanien Atlantique et Sud-Soudanien. Les sites ont été visités entre le 22 mai et le 5 juin 2006. Les sorties ont été quotidiennes et se sont faites de 8 h à 17 h. Les sites de collecte et leurs coordonnées géographiques sont donnés dans le tableau 1.

La méthode d'échantillonnage des figues est la même pour toutes les localités. Une fois le figuier repéré, les coordonnées géographiques de la localité sont déterminées par GPS et ses caractéristiques thermo-hygrométriques sont relevées. Le figuier est numéroté; l'arbre et/ou une partie de l'arbre sont photographiés. Toutes les figues qui sont dans un bon état (aucune ouverture, sauf celle de l'ostiole) sont ramassées ou cueillies. L'ensemble est mis dans un même sachet avec une étiquette portant le nom de la localité et le numéro du figuier.

Tableau 1.–Localités de récolte avec coordonnées géographiques et domaines climatiques.

Localités	**Coordonnées géographiques**	**Domaines climatiques**
Fimela	14° 08N, 16° 39W	Soudanien Atlantique
Samba Dia	14° 07N, 16° 43W	
Keur Matar	14° 13N, 16° 13W	Nord-Soudanien
Darou Salam	14° 02N, 15° 13W	
Diokoul Mbadian	14° 00N, 15° 09W	
Ida Mouride	13° 59N, 14° 48W	
Sinthiou Maléme	13° 48N, 13° 55W	
Dialacoto	13° 18N, 13° 17W	
Diénoun-Ndiala	13° 11N, 13° 06W	
Gouloumbou	13° 27N, 13° 42W	
Niokolokoba-Mako	12° 53N, 12° 23W	Sud-Soudanien
Mako	12° 50N, 12° 21W	
Tenkoto	12° 39N, 12° 16W	
Ngari	12° 35N, 12° 14W	
Kédougou	12° 33N, 12° 11W	
Bandafassi-Ibel	12° 31N, 12° 18W	
Bundu-Kundi	12° 31N, 12° 23W	
Ibel	12° 30N, 12° 23W	
Thiéwa	13° 15N, 13° 54W	
Yoro Walo	13° 09N, 14° 05W	
Kounkané	12° 54N, 14° 05W	
Diaobé	12° 54N, 14° 00W	
Bagadadji	12° 51N, 14° 39W	
Kolda	12° 52N, 14° 55W	

Collecte, tri et identification des Chalcidiens

Pour collecter les Chalcidiens, la méthode généralement utilisée consiste à les prélever directement à l'aide d'aspirateurs à bouche dans les sycones (c'est-à-dire l'inflorescence qui une fois mature donnera la figue) *in situ*, ou à les laisser émerger après mise en élevage dans les sycones. Les sycones contenant des Chalcidiens non encore émergés sont ouverts et mis dans des boîtes en plastique recouvertes de tulle et inspectées quotidiennement. L'émergence des Chalcidiens est en général obtenue en deux ou trois jours, parfois plus (J.-Y. Rasplus, obs. pers.). Pour chaque arbre, on compte le nombre de figues récoltées et un numéro est donné à chaque figue. Les deux diamètres (Ø1: diamètre entre l'ostiole et le pédoncule; Ø2 : diamètre perpendiculaire à Ø1) sont mesurés. La figue est ouverte suivant le diamètre Ø1 avec une lame de scalpel et les Chalcidiens sont repérés et récupérés avec des pinces souples. Ils sont mis dans un tube contenant de l'alcool à 70°. Cette procédure est répétée pour chaque figue. Une étiquette portant un code correspondant au nom de la localité, au numéro de l'arbre et au numéro de la figue est introduit dans le tube (exemple: FA1F1 = Fimela, arbre1, figue1). Chaque tube contient donc les insectes collectés sur une même figue et les tubes collectés sur le même arbre se trouvent dans un même sachet avec le numéro de l'arbre. A l'aide d'une loupe binoculaire, les insectes de chaque tube (correspondant au contenu d'une figue) sont ensuite triés et regroupés en fonction des ressemblances morphologiques dans des tubes contenant de l'alcool à 70°. Une étiquette portant le nom de la localité, le numéro de l'arbre, le numéro de la figue et enfin le numéro du tube (exemple: FA1F1T1 = Fimela, arbre1, figue1, tube1) est introduit à l'intérieur de celui-ci. Une fois le tri sur des bases morphologiques terminé pour l'ensemble des figues de tous les arbres de toutes les localités, l'identification des Chalcidiens est alors effectuée. Pour cela, nous nous appuyons sur la clé de détermination des Chalcidiens africains de Van Noort (2001) en nous basant sur certains caractères discriminants comme les mandibules, les appendices mandibulaires, la longueur de l'ovipositeur, les segments antennaires, la couleur, la taille, ou encore la forme de la tête.

Traitement des données.

La répartition et la diversité des espèces de Chalcidiens ont été évaluées en fonction des espèces de figuiers. L'infestation (nombre d'individus hébergés) des figues par les Chalcidiens a été testée en fonction de l'espèce de figuiers puis corrélée avec la taille des figues. L'influence des facteurs climatiques sur l'infestation des figues à été testée sur *Ficus sycomorus*, seule espèce de notre échantillonnage à être distribuée sur les trois domaines investigués.

Toutes les données recueillies (données groupées selon l'espèce de *Ficus* et selon les domaines climatiques) ont été analysées sous Statview 5.0 (SAS Institute, Cary, NC, USA). Après analyse de variance, le test de Fisher est choisi pour la discrimination statistique des moyennes au seuil de 5%.

RÉSULTATS

Répartition, abondance et diversité des Chalcidiens

L'intrication des insectes inféodés aux figuiers et leurs hôtes est telle qu'il serait logique d'étudier conjointement les aspects botaniques et entomologiques. Nous nous limiterons cependant, dans ce travail aux aspects entomologiques et écologiques des communautés de Chalcidiens. Sur les 26 espèces de figuiers signalées au Sénégal, 11 ont été trouvées au cours de nos sorties. Il s'agit de *Ficus abutilifolia* (Miq.) Miq, *F. bubu* Warb, *F. dicranostyla* Mildbr (figure 1), *F. glumosa* Delile, *F. ingens* (Miq.) Miq, *F. ovata* Vahl, *F. platyphylla* Delile (figure 2), *F. sur* Forsk (figure 3), *F. sycomorus* C.-C. Berg (figure 4), *F. thonningii* Blume et *F. umbellata* Vahl. *Ficus ingens* et *F. sycomorus* sont de loin les plus présentes. *Ficus sur* est très présente dans les contreforts du Sénégal oriental. Chez *F. abutilifolia, F. bubu, F. ovata* et *F. umbellata*, nous avons noté une absence de figues. Chez *F. dicranostyla*, aucun Chalcidien n'a été collecté dans les figues échantillonnées, bien qu'un grand nombre ait été récolté sur cette espèce au cours d'autres recherches (K. Kébé, données non-publiées). Les Chalcidiens étudiés proviennent donc de six espèces de *Ficus*: *F. glumosa*, *F. ingens, F. platyphylla*, *F. sur*, *F. sycomorus* et *F. thonningii*. Ces différentes espèces de *Ficus* ne sont pas réparties sur tous les domaines climatiques visités. Les figues de *F. glumosa*, *F. ingens*, *F. platyphylla* et *F. sur* ont été échantillonnées dans le domaine Sud-Soudanien; les figues de *F. sycomorus* ont été échantillonnées dans les trois domaines visités (Nord-Soudanien, Soudanien Atlantique et Sud-Soudanien) alors que celles de *F. thonningii* ont été échantillonnées dans le Nord-Soudanien et le Sud-Soudanien. Le tableau 2 résume les espèces de Chalcidiens identifiées, le total des individus récoltés et le nombre de figues ouvertes sur les six espèces hôtes.

Il ressort de ces observations que chaque *Ficus* possède sa microfaune caractéristique; cependant, chez *Ficus sur* et *Ficus sycomorus*, les mêmes genres de Chalcidiens sont retrouvés.

Sur les 25 figues ouvertes de *Ficus glumosa*, 123 Chalcidiens ont été retrouvés, répartis entre quatre espèces. Parmi ces 123 insectes, le pollinisateur, *Elisabethiella glumosae* Wiebes n'est pas représenté. *Otitesella sp.* Westwood est l'espèce la plus représentée (53 individus).

Chez la plupart des *Ficus ingens* les figues étaient en début de développement. Dix-neuf figues mûres ont été ouvertes, contenant un total de 67 guêpes de figues. Ces individus se répartissent entre trois espèces, dont le pollinisateur *Platyscapa soraria* Wiebes qui est le plus représenté (30 individus).

Chez *Ficus platyphylla,* 436 individus de Chalcidiens sont collectés dans les 19 figues ouvertes. Ces individus se regroupent entre cinq espèces, dont le pollinisateur *Elisabethiella sp.* Grandi, ce dernier étant le plus représenté (106 individus).

Vingt-deux figues ont été ouvertes chez *Ficus sur* avec 1363 guêpes récoltées. Ces guêpes se répartissent entre six espèces de Chalcidiens dont le pollinisateur *Ceratosolen silvestrianus* Grandi. Deux de ces six espèces n'ont pas pu être déterminées. *Ceratosolen silvestrianus* est l'espèce dominante (317 individus).

Chez *Ficus sycomorus*, 144 figues ont été ouvertes, 5886 Chalcidiens récoltés, qui se répartissent entre dix espèces, dont le pollinisateur *Ceratosolen arabicus* Mayr. Comme

Figure 1.–*Ficus dicranostyla* avec ses figues groupées par deux sur les branches.

Figure 2.–*Ficus platyphylla* avec ses figues reliées aux branches par de longs pédoncules.

chez *Ficus sur*, deux espèces de Chalcidiens n'ont pu être déterminées. *Sycophaga sycomori* est l'espèce dominante chez *Ficus sycomorus* (3183 individus).

Ficus thonningii présente le plus petit nombre de figues investiguées, avec 109 guêpes de figues collectées réparties entre quatre espèces, dont le pollinisateur *Alfonsiella sp.* Waterston qui est le plus représenté (43 individus).

Lorsque nous comparons les niveaux d'infestation par espèce hôte (figure 9), il apparaît que les figues des figuiers du sous-genre Sycomorus (*F. sycomorus* et *F. sur*) sont les plus infestées; celles du sous-genre Urostigma (*F. glumosa*, *F. ingens F. platyphylla* et *F. thonningi*) sont faiblement infestées.

Les tests statistiques révèlent une différence d'infestation très significative entre espèces de *Ficus* ($P < 0.0001$, $F = 8.455$, ddl = 5, n = 241); *Ficus sur* étant l'espèce la plus infestée et *F. ingens* étant l'espèce la moins infestée.

Notons aussi qu'il existe une forte corrélation entre la taille de la figue et le nombre d'individus hébergé (coefficient de corrélation $R^2 = 0.92$). En effet, lorsque les figues sont matures, celles de *F. sur* présentent le plus grand volume, suivies de celles de *F. sycomorus*, *F. platyphylla, F. thonningii, F. glumosa* et enfin celles de *F. ingens*. Cette corrélation est par contre faible au niveau intraspécifique; par exemple chez *F. sycomorus*, le R^2 est égal à 0.12, tandis que chez *F. sur*, il est de 0.18.

Infestation des figues de ***Ficus sycomorus*** *en fonction des domaines climatiques*

Les différentes zones d'étude se répartissent entre trois des cinq domaines climatiques présents au Sénégal: Nord-Soudanien, Sud-Soudanien et Soudanien-Atlantique. L'influence des facteurs du climat sur l'infestation n'a été étudiée que chez *Ficus sycomorus* qui est la seule espèce retrouvée et échantillonnée dans les trois domaines climatiques (figure 10).

En valeurs absolues les figues de *F. sycomorus* récoltées dans le domaine Nord-Soudanien sont plus infestées, celles échantillonnées dans le domaine Soudanien Atlantique étant les moins infestées. Cette différence d'infestation des figues entre les trois domaines n'est pas significative ($P = 0.29$, $F = 3.64$, ddl = 2, n = 144). Notons cependant qu'entre les domaines Nord-Soudanien et Soudanien Atlantique la différence d'infestation est significative ($P = 0.0091$).

Discussion

Abondance relative, diversité spécifique

Seuls 42.3% des *Ficus* signalés au Sénégal ont été rencontrés au cours de notre étude. Ceci s'explique par le fait que la plupart des espèces non trouvées se trouvent dans la zone Soudano-Guinéenne, région non visitée en raison de l'insécurité qui y règne. Par ailleurs, certaines espèces supposées se rencontrer dans la région prospectée n'ont pu être repérées. Même parmi les figuiers rencontrés, la faune de certains d'entre eux n'a pu être étudiée à cause de leur état phénologique. C'est le cas pour *F. bubu*, *F. ovata*, *F. abutilifolia* et *F. umbellata*. En ce qui concerne *F. dicranostyla*, beaucoup de figues ont été récoltées

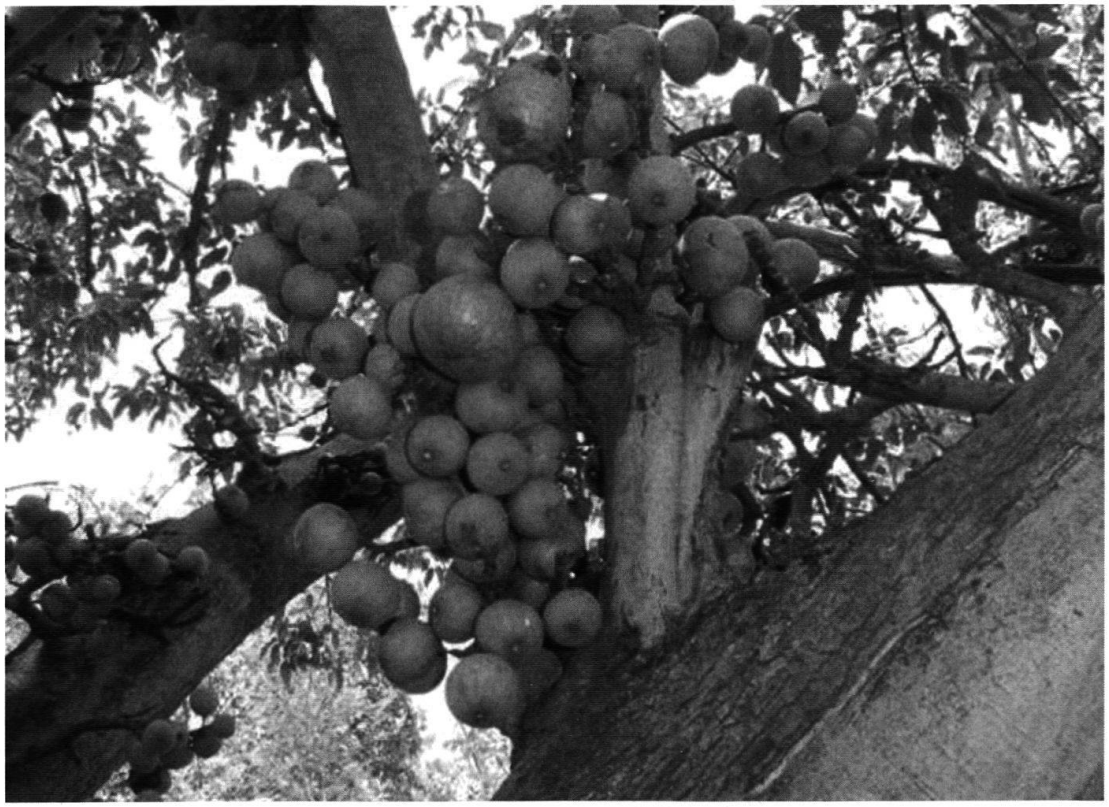

Figure 3.–*Ficus sur* avec ses figues disposées sur les branches principales.

Figure 4.–*Ficus sycomorus* avec ses figues disposées à l'aisselle des feuilles.

Tableau 2.–Différentes espèces de *Ficus* échantillonnées avec le nombre de figues récoltées et de Chalcidiens identifiés.

Ficus	**Nombre de figues ouvertes**	**Nombre de Chalcidiens**	**Espèces de Chalcidiens**
Ficus glumosa	25	123	*Lachaisea sp* **Rasplus** *Otitesella sp* **Westwood** *Philocaenus sp* **Grandi** *Sycoscaptere sp* **Saunder**
Ficus ingens	19	67	*Otitesella rotunda* **Van Noort** *Philocaenus sp* **Grandi** *Platyscapa soraria* **Wiebes**
Ficus platyphylla	19	436	*Elisabethiella sp* **Grandi** *Otitesella sp* **Westwood** *Philocaenus hippopotamus* **Van Noort** *Philotrypesis sp* **Förster** *Sycoscaptere sp* **Saunder**
Ficus sur	22	1363	*Apocrypta sp* **Wiebes** *Ceratosolen silvestrianus* **Grandi** (fig. 5) *nsp1* *nsp2* *Platyneura bousykophila* **Motschulsky** *Sycophaga silvestrii* **Grandi**
Ficus sycomorus	144	5886	*Apocrypta longitarsus* **Mayr** *Ceratosolen arabicus* **Mayr** (fig. 6) *Ceratosolen galili* **Wiebes** *nsp3* *nsp4* *Platyneura gigas* **Motschulsky** (fig. 7) *Platyneura sycomori* **Motschulsky** *Sycophaga sycomori* **Linneaus** *Sycoscaptere sp* **Saunder** *Watshamiella sp* **Wiebes** (fig. 8)
Ficus thonningii	12	109	*Alfonsiella sp* **Waterston** *Otitesella tsamvi* **Wiebes** *Philocaenus barbatus* **Grandi** *Sycoscaptere sp* **Saunder**

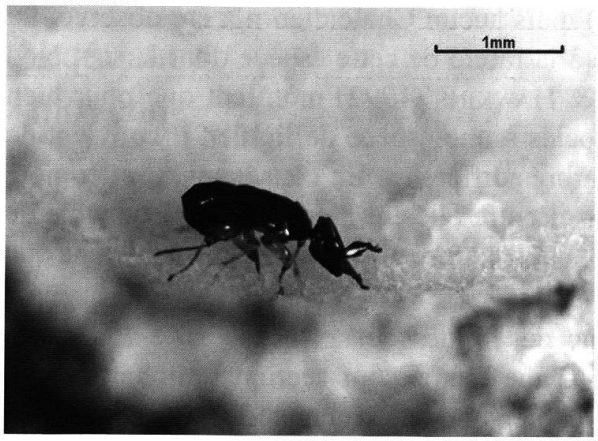

Figure 5.–Femelle de *Ceratosolen silvestrianus* (pollinisateur de *F. sur*) ayant perdu ses ailes et une partie de ses antennes au cours de sa pénétration dans la figue.

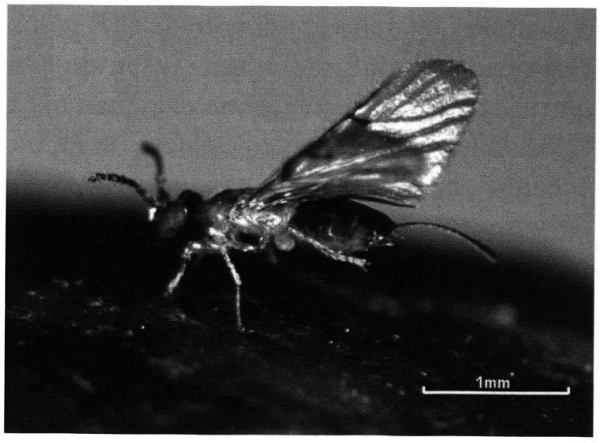

Figure 6.–Femelle de *Ceratosolen arabicus* (pollinisateur de *F. sycomorus*) sortant de sa figue de naissance à la recherche de figues réceptives. Son ovipositeur fait à peu près la moitié de son corps.

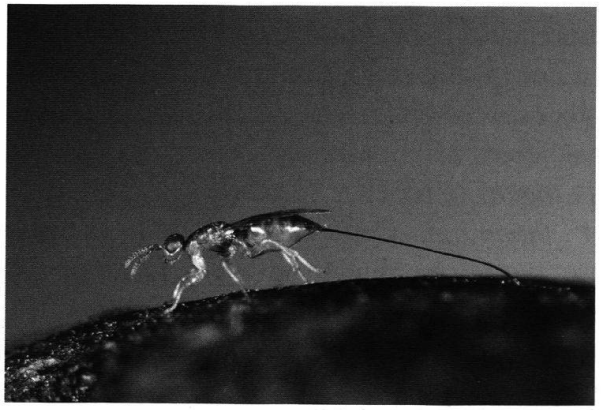

Figure 7.– Femelle de *Platyneura gigas* (galligène de *F. sycomorus*). Son ovipositeur fait à peu près deux fois la longueur du corps, ce qui lui permet de déposer ses œufs dans tous les types de fleurs.

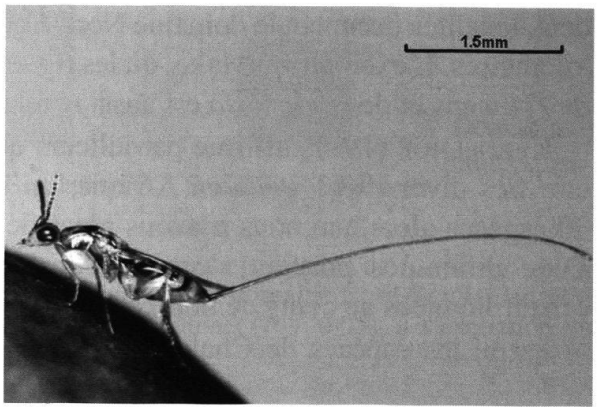

Figure 8.–Femelle de *Watshamiella sp.* (parasitoïde de *Ceratosolen arabicus*, pollinisateur de *F. sycomorus*). Son ovipositeur fait plus de deux fois la longueur du corps ce qui lui permet de pondre dans la figue tout en restant en dehors.

sur le seul pied rencontré à Ngari (Kédougou) mais aucun Chalcidien n'a été observé. La disparition de sa microfaune pourrait être liée à la rareté de cette espèce dont le seul pied rencontré semble être une relique. COMPTON & HAWKINS (1992) montrent que pour bien échantillonner localement les Chalcidiens associés à une espèce de figuier, il convient de récolter la faune sycophile sur au moins cinq arbres différents. En conséquence, et compte tenu du haut niveau de spécificité de la plupart d'entre elles, il n'est pas déraisonnable de penser que l'entomofaune sycophile du Sénégal pourrait être plus de trois fois plus riche que ce que nous rapportons ici.

Les Chalcidiens analysés proviennent donc des figues de six espèces de *Ficus*. Le premier constat est que les espèces de *Ficus* d'une même sous-section semblent abriter des entomofaunes similaires au niveau du genre, bien que hautement spécifiques au niveau de l'espèce. C'est le cas entre *F. sur* et *F. sycomorus*, qui appartiennent à la sous-section *Sycomorus*, et entre *F. platyphylla* et *F. glumosa*, appartenant à la sous-section *Platyphyllae*. Ces résultats confirment les travaux de WIEBES (1979) selon qui, des figuiers apparentés ont en général des microfaunes apparentées. D'autre part, la différence d'infestation des figues chez les différentes espèces de *Ficus* que nous avons visitées montre que les figues échantillonnées sur *F. sur* et sur *F. sycomorus* sont plus infestées que les figues récoltées sur les autres espèces de figuiers. *Ficus sur* et *F. sycomorus* appartiennent toutes deux au sous-genre *Sycomorus*, alors que les espèces restantes appartiennent au sous-genre *Urostigma*. Il apparaît donc, dans les limites de notre étude, que les figuiers du sous-genre *Sycomorus* hébergent plus de Chalcidiens que les figuiers du sous-genre *Urostigma*. Ceci peut être lié à la taille des figues qui sont plus grandes chez *F. sur* et *F. sycomorus* que chez les autres espèces de *Ficus*.

Le nombre de Chalcidiens associés varie également en fonction de l'espèce de figuier. Les espèces de la sous-section *Sycomorus* comprennent la plus grande richesse spécifique en Chalcidiens. Cependant, par rapport à d'autres régions du monde, ces faunules sénégalaises sont très peu diversifiées puisque dix espèces seulement ont été collectées dans le figuier renfermant le plus d'espèces de Chalcidiens (*F. sycomorus*). Chez *F. glumosa*, quatre espèces ont été identifiées, trois chez *F. ingens*, cinq chez *F. platyphylla*, six chez *F. sur*, dix chez *F. sycomorus* et quatre chez *F. thonningii*. Cette variation de la richesse des cortèges en fonction de l'hôte est en phase avec l'observation faite par COMPTON & HAWKINS (1992). Dans certaines localités présentant les mêmes caractéristiques climatiques, les niveaux d'infestation des figues par les guêpes sont différents d'une espèce hôte à une autre. C'est le cas entre les figues échantillonnées sur *F. sycomorus* à Darou Salam qui sont plus infestées que celles échantillonnées sur *F. thonningii* à Djokoul Mbadian, alors que ces deux localités occupent le domaine Nord-Soudanien et sont distantes seulement de quelques kilomètres. L'exemple de Mako, où les figues de *F. sycomorus* sont plus infestées que celles de *F. ingens* et de *F. glumosa* est aussi révélateur de ce même patron.

KERDELHUÉ (1997) affirme par ailleurs que les faunules associées aux figuiers peuvent être très diversifiées et qu'en Afrique, un individu de *F. thonningii* peut abriter jusqu'à 30 espèces alors que nous n'avons identifié que quatre espèces chez cet hôte au Sénégal. Cette différence pourrait s'expliquer par le faible nombre de figues de *F. thonningii* échantillonnées au cours de notre étude.

Parmi les espèces de Chalcidiens se développant et interagissant au sein de la figue,

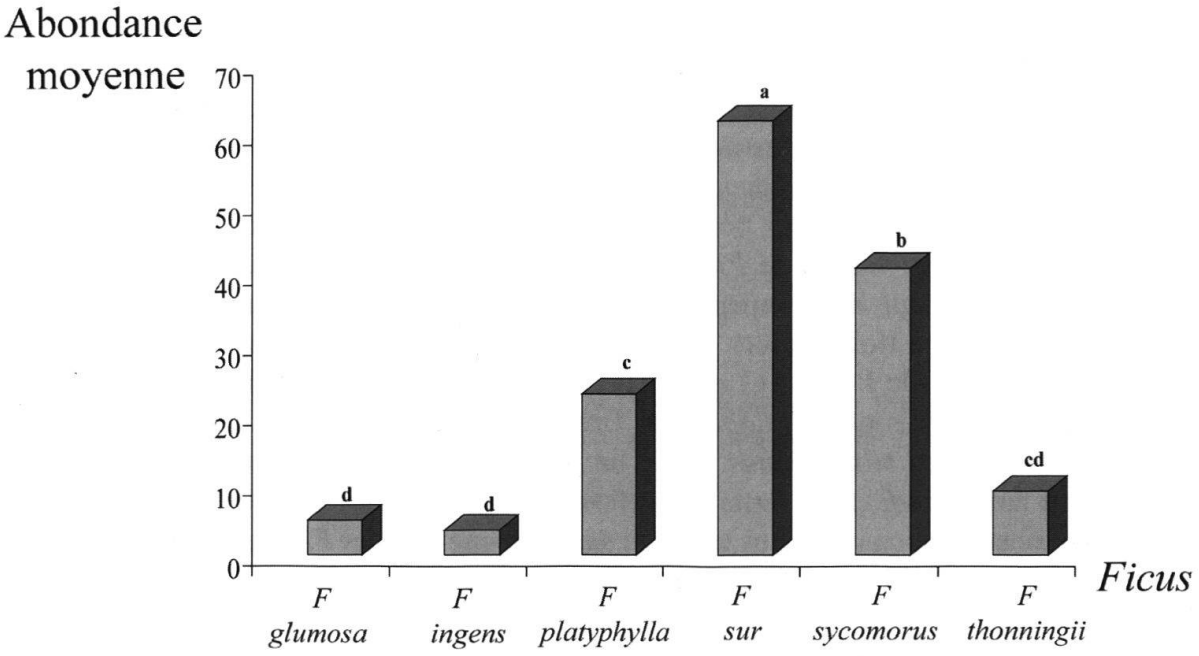

Figure 9.–Abondance moyenne des Chalcidiens pour chaque espèce de figuiers. Les figues des figuiers du sous-genre Sycomorus (*F. sycomorus* et *F. sur*) sont les plus infestées; celles du sous-genre Urostigma (*F. glumosa*, *F. ingens F. platyphylla* et *F. thonningi*) sont faiblement infestées. Des lettres différentes au dessus des barres de l'histogramme indiquent des différences significatives; une même lettre montre des différences non significatives d'un point de vue statistique.

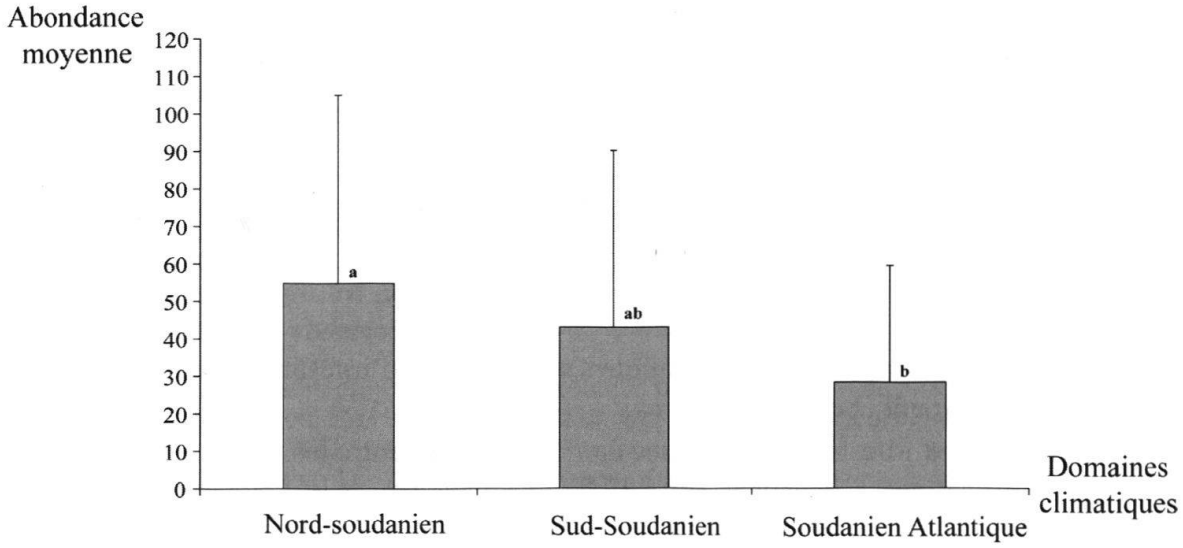

Figure 10.– Abondance moyenne des Chalcidiens échantillonnés dans les figues de *F. sycomorus* en fonction des domaines climatiques. En valeurs absolues, les figues du domaine Nord-Soudanien sont les plus infestées, bien que les différences ne soient pas significatives ($P > 0.05$), à l'exception du couple Nord-Soudanien / Soudanien Atlantique.

l'une d'entre elles seulement est impliquée dans la pollinisation, les autres espèces étant soit des galligènes soit des parasitoïdes. ULENBERG (1985) observe qu'à chaque couple de *Ficus* et de pollinisateur du genre *Ceratosolen* est associé un *galligène/parasitoïde* du genre *Apocrypta*. Ceci va dans le même sens que nos résultats, car les deux couples de *Ficus-Ceratosolen*: *F. sur-C. silvestrianus* et *F. sycomorus-C. arabicus,* observés au cours de notre étude, sont associés chacun à une espèce de *Apocrypta*: *Apocrypta nsp1* pour le premier couple et *A. longitarsus* pour le second couple. Nos résultats confirment aussi la règle qui veut qu'une espèce de *Ficus* soit associée à une seule espèce de pollinisateur. Chez *F. sur*, cette règle n'est cependant pas toujours respectée puisque cette espèce ne compte pas moins de trois espèces de *Ceratosolen* associés: *Ceratosolen silvestrianus* le pollinise en Afrique de l'ouest, *C. capensis* Grandi se rencontre en Afrique de l'est et en Afrique du Sud, tandis que *C. flabellatus* Grandi est présent d'est en ouest du continent africain. *Ceratosolen silvestrianus* serait lié préférentiellement aux habitats ouverts de type savane alors que *C. flabellatus* serait favorisé dans les zones forestières (KERDELHUÉ 1997). Nos observations vont dans le même sens puisque tous les *Ficus sur* que nous avons visités se trouvent dans des zones ouvertes et que nous n'avons identifié que *Ceratosolen silvestrianus*, pollinisatrice de *F. sur* au Sénégal. Cependant, plusieurs études récentes ont découvert et décrit plusieurs espèces cryptiques de guêpes qui pollinisent une seul espèce de figuier (MOLBO *et al.* 2003, MACHADO *et al.* 2005, HAINE *et al.* 2006, PENG *et al.* 2008, SU *et al.* 2008, MOE & WEIBLEN 2010).

Les Chalcidiens non-pollinisateurs sont actuellement considérés comme spécifiquement associés à une seule espèce de figuier (COOK & RASPLUS 2003). Nos résultats vont dans le même sens; sur les six étudiées, chaque espèce de *Ficus* est colonisée, outre le pollinisateur, par des guêpes non-pollinisatrices qui lui sont spécifiques.

Notons enfin que dans tous les domaines climatiques, nos résultats mettent en évidence une proportion de guêpes pollinisatrices inférieure à la proportion de guêpes non-pollinisatrices. Ceci pourrait avoir comme conséquence l'extinction des guêpes pollinisatrices dans quelques cas extrêmes qui peuvent transformer l'interaction mutualiste entre les figues et les guêpes de figues en une interaction de type hôte/parasites. Un tel effet pourrait mener à l'extinction locale de cette ressource.

Infestation des figues de F. sycomorus en fonction des domaines climatiques

Les espèces de *Ficus* étudiées ne sont pas réparties sur tous les domaines, à l'exception de *F. sycomorus*. Compte tenu de l'absence de certaines espèces de figuiers dans certains domaines, l'influence des facteurs climatiques sur le niveau d'infestation des figues a donc été étudiée uniquement chez *F. sycomorus*.

Les différences d'infestation des figues de *F. sycomorus* entre les domaines climatiques sont non significatives. Cependant entre le Nord-Soudanien et le Soudanien Atlantique, cette différence est significative. Cette observation s'explique sans doute par le fait que le Soudanien Atlantique est sous l'influence permanente de la mer et est donc caractérisé par une humidité relative importante, qui le distingue du Nord-Soudanien où il fait chaud et sec. Dans un tel milieu, les guêpes femelles, émergeant de leurs figues de naissance doivent voler à la recherche de figues réceptives. Ce sont des insectes de très petite taille, très vulnérables; leurs déplacements nécessiteraient des conditions particulières. La faible

présence des Chalcidiens sycophiles dans le domaine Soudanien Atlantique pourrait donc être causée par l'humidité importante. L'influence des facteurs du climat sur la répartition des Chalcidiens associés aux figues que nous avons mise en évidence confirme les résultats de PROFFIT (2007) selon qui certaines espèces présentes dans les milieux subtropicaux ou tropicaux ont des cycles de développement relativement plus courts par rapport à leurs équivalents des milieux tempérés, probablement parce que leur environnement ne présente pas de saison bien marquée.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient J-Y. RASPLUS (CBGP-INRA, Montpellier, France) pour sa précieuse collaboration. Ils remercient également les relecteurs pour leurs excellentes suggestions. Ce travail a été partiellement financé par le projet Nice Figs.

BIBLIOGRAPHIE

BOUCEK Z., 1988. Australian Chalcidoidea (Hymenoptera). *C.A.B.I. Wallingford* 1-823.

COMPTON S.-G., HOLTON K.-C., RASHBROOK V.-K., VAN NOORT S., VINCENT S.-L. & WARE A.-B., 1991. Studies on *Ceratosolen galili*, a non-pollinating Agaonid fig wasp. *Biotropica* 23: 188-194.

COMPTON S.-G. & HAWKINS B.-A., 1992. Determinants of species richness in southern African fig wasp assemblages. *Oecologia* 91: 68-74.

COOK J.-M. & RASPLUS J.-Y., 2003. Mutualists with attitude: coevolving fig wasps and fig. *Trends in Ecology & Evolution* 18: 241-248.

CORNER E.-J.-H., 1962. The classification of Moraceae. *Garden's Bulletin Singapore* 19: 187-252.

HAINE E.-R., MARTIN J. & COOK J.-M., 2006. Deep mtDNA divergences indicate cryptic species in a fig-pollinating wasp. *BMC Evolutionary Biology* 6: 83.

JOUSSELIN E., RASPLUS J.-Y. & KJELLBERG F., 2001. Shift to mutualism in parasitic lineages of the fig/fig wasp interaction. *Oikos* 94: 287-294.

JOUSSELIN E., RASPLUS J.-Y. & KJELLBERG F., 2003. Convergence and coevolution in a mutualism: evidence from a molecular phylogeny of *Ficus*. *Evolution* 57: 1255–1269.

KERDELHUÉ C., 1997. Les communautés de Chalcidiens sycophiles associées aux figuiers du sous-genre *Sycomorus*: Ecologie et Evolution. Thèse de Doctorat: Institut National Agronomique Paris-Grignon, 205 p.

MACHADO C.-A., ROBBINS N., GILBERT T.-P. & Herre E.-A., 2005. Critical review of host specificity and its coevolutionary implications in the fig/fig-wasp mutualism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 6558–6565.

MOE A.-M. & WEIBLEN G.-D., 2010. Molecular divergence and host conservatism in *Ceratosolen* (Agaonidae) pollinators of geographically widespread *Ficus* species (Moraceae). *Annals of the Entomological Society of America* 103: 1025–1037.

MOLBO D., MACHADO C.-A., SEVENSTER J.-G., KELLER L. & HERRE E.-A., 2003. Cryptic species of fig-pollinating wasps: implications for the evolution of the fig-wasp mutualism, sex allocation, and precision of adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100: 5867–5872.

PENG Y., DUAN Z. & YANG D., 2008. Co-occurance of two *Eupristina* species on *Ficus altissima* in Xishuangbanna, SW China. *Symbiosis* 45: 9–14.

PROFFIT M., 2007. Médiation chimique et structuration des communautés d'hyménoptères parasites du mutualisme figuiers/pollinisateurs. Thèse Ecole Doctorale: Biologie Intégrative, Université de Montpellier 234 p.

SAGNA P., 2000. Le climat. *In*: Atlas du Sénégal, pp 16-19, 6 cartes, Paris Ed Jeune Afrique, 1980, 5ème Ed, 84 p.

SU Z.-H., IINO H., NAKAMURA K., SERRATO A. & OYAMA K., 2008. Breakdown of the one-to-one rule in Mexican fig–wasp associations inferred by molecular phylogenetic analysis. *Symbiosis* 45: 73–81.

ULENBERG S.-A., 1985. The phylogeny of the genus *Apocrypta* Coquerel in relation to its hosts *Ceratosolen* Mayr (Agaonidae) and *Ficus* L. *Verhandeligen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Afdeeling Natuurkunde, Tweed Reeks* 83: 149-176.

VAN NOORT S. & RASPLUS J.-Y., 1997. Revision of the otiteselline fig wasps (Hymenoptera: Chalcidoidea: Agaonidae), I: *Otitesella digitata* species-group of the Afrotropical region, with a key to Afrotropical species of *Otitesella* West wood. *African Entomology* 5(1): 125-145.

VAN NOORT S., 2001. Fig wasps of Africa. An illustrated identification key to genera. (Draft manuscript), 24 p.

VAN NOORT S., 2004. Fig Wasps (Hymenoptera: Chalcidoidea: Agaonidae, Pteromalidae & Ormyridae) and *Ficus* (Moraceae) species richness and biogeography of Monts Doudou in south-western Gabon . *California Academy of sciences Memoir* 28: 217-233.

VAN NOORT S. & RASPLUS J.-Y., 2005. Fig and fig wasps. Iziko Museums of Cape Town, website at www.figweb.org.

WANG R.-W., YANG C.-Y., ZHAO G.-F. & YANG J.-X., 2005. Fragmentation effects on diversity of wasp community and its impact on fig/fig wasp interaction in *Ficus racemosa L. Journal of Integrative Plant Biology* 47(1): 20-26.

WEIBLEN G.-D., 2002. How to be a fig wasp. *Annu. Rev. Entomol* 47: 299-330.

WEIBLEN G.-D. & BUSH G.-L., 2002. Speciation in fig pollinators and parasites. Molecular *Ecology* 11: 1573-1578.

WIEBES J.-T., 1979. Co-evolution of figs and and their insect pollinators. *Annual Review of Ecology and Systematics* 10: 1-12.

WIEBES J.-T. & COMPTON S.-G., 1990. Agaonidae (Hymenoptera Chalcidoidea) and *Ficus* (Moraceae): fig wasps and their fig, VI (Africa concluded). *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse akademie van wetenschappen* (C) 93: 203-222.

Manuscrit reçu le 14 juin 2011