

La surprenante résilience aux changements globaux du mutualisme hyper-spécialisé *Ficus*-pollinisateurs spécifiques

Finn Kjellberg

Chercheur émérite CNRS

CEFE, CNRS, Univ Montpellier, IRD,
EPHE, Montpellier, France



Avec plus de 800 espèces, les *Ficus* sont incroyablement diversifiés









Thank you for your attention



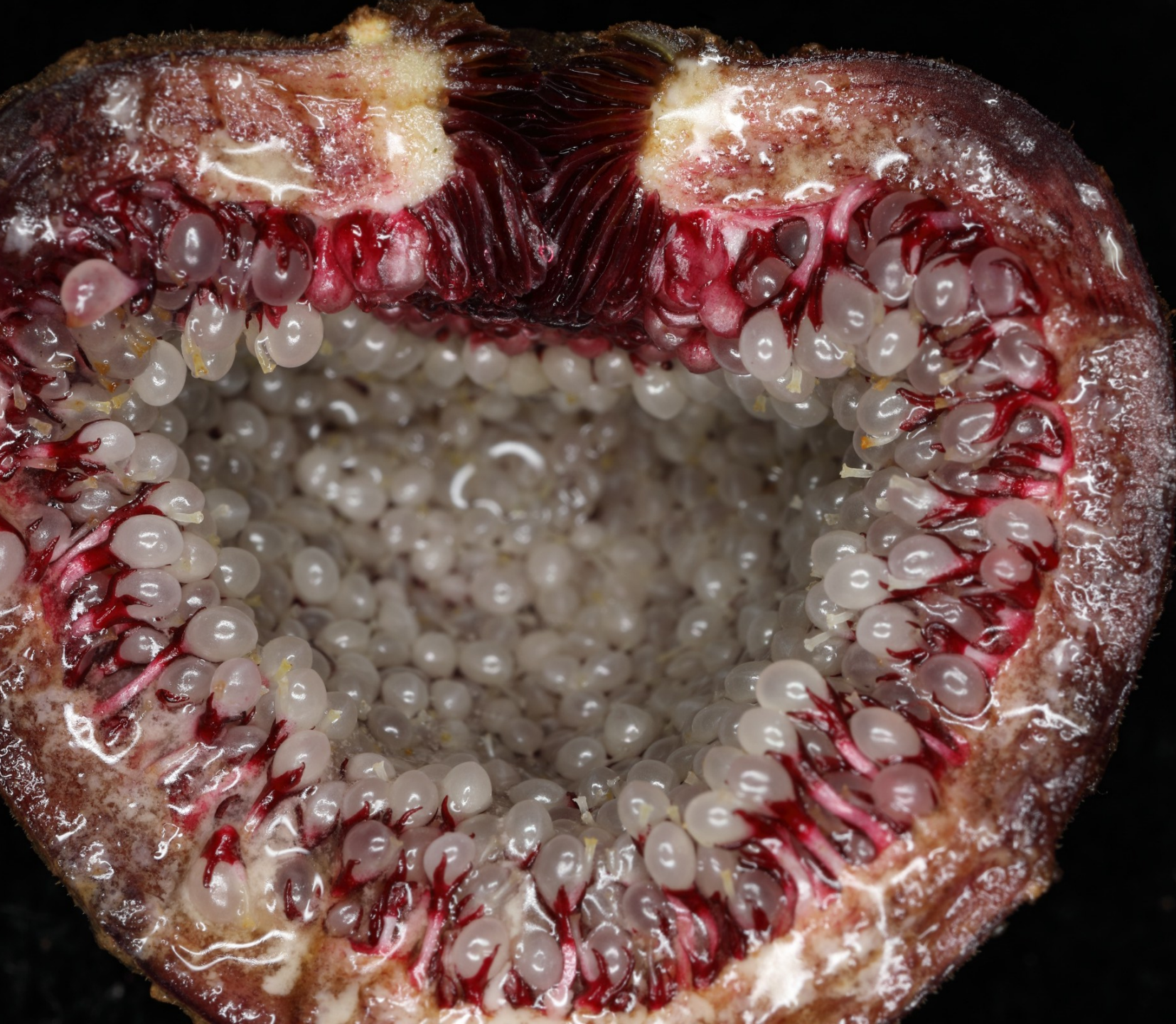


Les figuiers produisent des figues

Ficus racemosa, Yunnan, Chine

Les figuiers produisent des figes






La figue est une
inflorescence refermée
en urne

L'intérieur est couvert de
fleurs pistillées

La figue est pollinisée
plusieurs semaines
avant de produire du
pollen, elle ne peut pas
s'autoféconder

Ficus beipeiensis, Yunnan, Chine



**Le pollinisateur est attiré
par une odeur spécifique
émise par la figue
réceptive de son *Ficus* hôte**

L'insecte visite exclusivement
son espèce de *Ficus* hôte !

le pollinisateur approchant l'entrée de la figue



L'ostiole est un passage difficile, l'insecte perd ses ailes et une partie de ses antennes





L'insecte pond dans les ovules et pollinise



ovules en développement contenant des larves d'insectes ou des graines

Ficus cremersii, Guyane

Les mâles fécondent les femelles encore enfermées dans leur galle natale

insecte male fécondant une femelle encore enfermée dans sa **galle**

Ficus guianensis, Guyane



trou de sortie
percé par les
insectes mâles

Ficus obtusifolia, Guyane



l'insecte se charge de pollen dans sa figue natale

Ficus maxima, Guyane



Les insectes chargés de pollen quittent leur figue et partent à la recherche d'une figue réceptive où pondre et polliniser

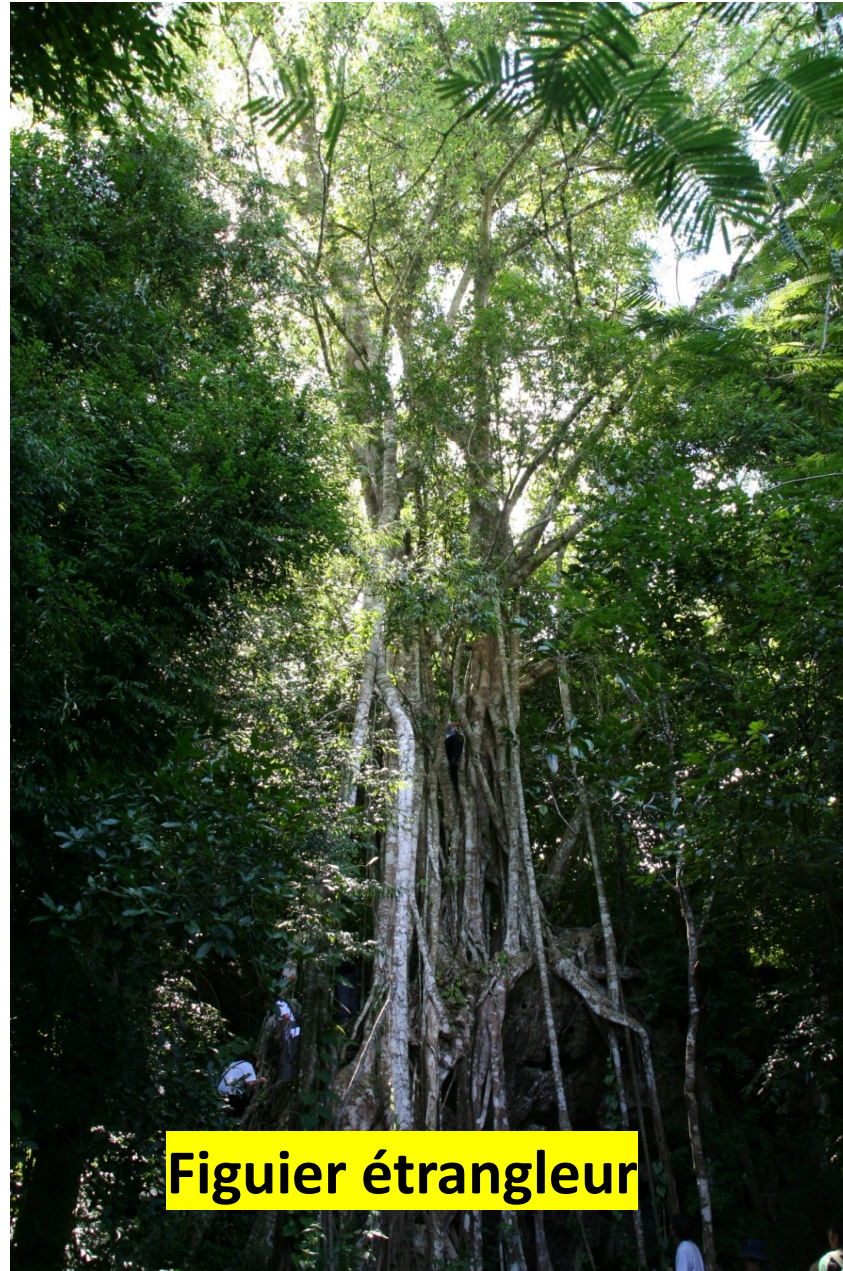
Figes mûres, attractives pour les consommateurs de fruits



3 grands types de *Ficus*



Grand arbre de plain-pied



Figuier étrangleur



**Buisson-petit arbre :
les *Ficus* dioïques. Les arbres
mâles produisent des
insectes, les femelles des
graines**

Les *Ficus* fournissent d'importants services écosystémiques

Leur fructification abondante est une ressource importante pour les frugivores dans beaucoup d'habitats tropicaux

Ce sont les premiers colonisateurs d'espaces ouverts

En attirant les animaux frugivores ils favorisent une pluie de graine abondante et diversifiée.

Ils produisent de petits insectes en grand nombre, qui sont consommés par une diversité d'espèces insectivores.



© Zainal Zahari



AN ILLUSTRATED GUIDE TO
Bornean Orangutan
FOOD PLANTS

JOHN PAYNE & ZAINAL ZAHARI ZAINUDDIN



La diversité d'animaux consommant des figues
est impressionnante
(Kourou, Guyane)

Photo : Michel Giraud-Audine



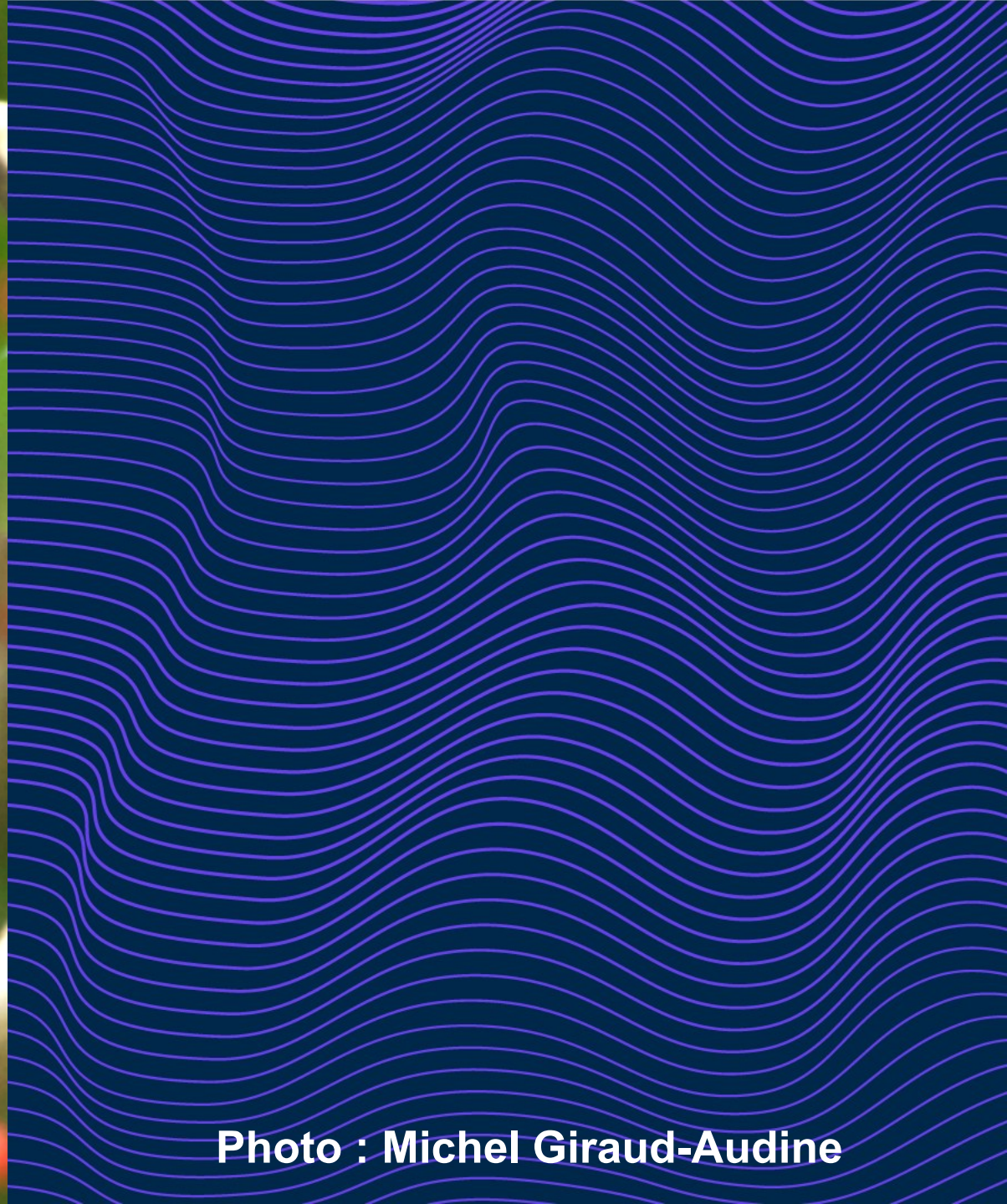


Photo : Michel Giraud-Audine



Les *Ficus* dans les villes

Civette asiatique
consommant des figues
de *Ficus subpisocarpa*

Hong Kong

Dans mon jardin, blaireau, renard,
fouine, genette, oiseaux diversifiés
consomment les figues



Les *Ficus* fournissent d'importants services écosystémiques

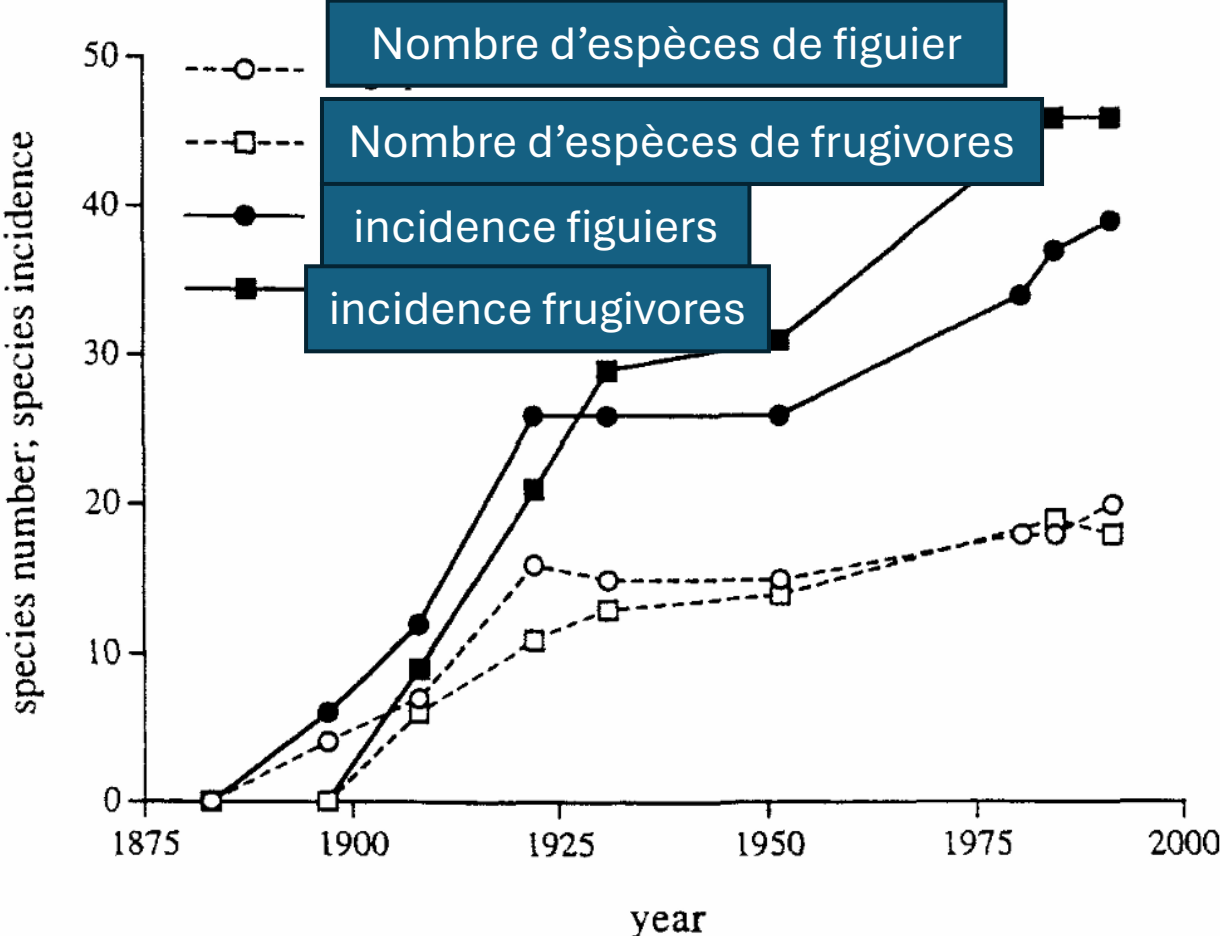
Leur fructification abondante est une ressource importante pour les frugivores dans beaucoup d'habitats tropicaux

Ce sont les premiers colonisateurs d'espaces ouverts

En attirant les animaux frugivores ils favorisent une pluie de graine abondante et diversifiée.

Ils produisent de petits insectes en grand nombre, qui sont consommés par une diversité d'espèces insectivores, en particulier les insectes qui dérivent au dessus de la canopée

Exemple: les *Ficus* ont été les premiers colonisateurs des îles Krakatoa après l'explosion de 1883



Colonisation des îles Krakatoa

La première vague de colonisation du Krakatoa : des petits *Ficus* dioïques appartenant à 3 sous genres différents.

La seconde vague de colonisateurs inclue un excès de grands *Ficus* de plain-pied.

La troisième vague inclue les *Ficus* étrangleurs.

Tous dioïques,
Ssgenre *Terega*
Ssgenre *Sycomorus*
Ssgenre *Ficus*

Grands arbres

Les étrangleurs arrivent
un peu plus tard

TABLE 1. *Ficus* species on the Krakatau Islands with date of first and, where believed extinct, last record, island distribution (R, Rakata; S, Sertung; P, Panjang; A, Anak Krakatau), monoecy (mo) or dioecy (di), putative dispersal by birds (bi) or bats (ba) and habit (cr, creeper; di, dioecious; e, epiphyte; lt, large tree; mo, monoecious; mt, medium tree; sc, scrambler; sh, shrub; st, small tree; str, strangler).

<i>Ficus</i> species	1 ^{er} obs	Now on	Mo/di	Dispersers	Habit
<i>F. fulva</i> Reinw. ex Bl.		RSPA	di	ba bi	st
<i>F. hispida</i> L. f.		RSPA	di	ba	st
<i>F. padana</i> Burm. f.		RSP	di	?ba	st
<i>F. septica</i> Burm. f.		RSPA	di	ba bi	st
<i>F. hirta</i> Vahl		RS	di	?ba	sh
<i>F. fistulosa</i> Reinw. ex Bl.		RSPA	di	ba	st
<i>F. montana</i> Burm. f.		RP	di		sh/cr/e
<i>F. callosa</i> Willd.		RS	mo	ba	lt
<i>F. ampelas</i> Burm. f.		RSPA	di	ba bi	st
<i>F. retusa</i> L.		RS	mo	bi ba	str-lt
<i>F. ribes</i> Reinw. ex Bl.		RS	di	ba	mt
<i>F. tinctoria</i> L. f.		RSP	di	ba	e/str'/lt
<i>F. variegata</i> Bl.		RSPA	di	ba	lt
<i>F. subulata</i> Bl.		R	di	bi	str-st/sh
<i>F. pubinervis</i> Bl.		RSPA	mo		lt
<i>F. ?elastica</i> Roxb.	1951-	R	mo	ba	str-lt
<i>F. annulata</i> Bl.	1951-	R	mo	ba	str/e/sc/mt
<i>F. heterophylla</i> L. f.	1979	R	di		sh
<i>F. racemosa</i> L.	1982-	R	mo	ba	mt
<i>F. lepigarpa</i> Bl.	1982-	RP	di		st
<i>F. sumatrana</i> Miq.	1982-	S	mo	bi	str-mt
<i>F. drupacea</i> Thunb.	1989-	R	mo	bi	str-mt
<i>F. virens</i> Ait.	1989-	R	mo	ba bi	str-mt
<i>F. benamina</i> L.	1992-	R	mo	ba bi	str-lt

Les *Ficus* en général sont des colonisateurs très longue distance

Espèces de *Ficus* natives de Madagascar : 7 sections

**Pour les *Ficus*, Madagascar est une plaque tournante migratoire
C'est une aberration du point de vue biologique !**

Les *Ficus* ont colonisé des îles isolées comme

La Nouvelle Calédonie

Tahiti

Les Marquises

Les *Ficus* fournissent d'importants services écosystémiques

Leur fructification abondante est une ressource importante pour les frugivores dans beaucoup d'habitats tropicaux

Ce sont les premiers colonisateurs d'espaces ouverts

En attirant les animaux frugivores ils favorisent une pluie de graine abondante et diversifiée.


Ils produisent de petits insectes en grand nombre, qui sont consommés par une diversité d'espèces insectivores, en particulier les insectes qui dérivent au dessus de la canopée



Quand les figuiers sont préservés dans le paysage, les animaux frugivores sont attirés assurant une pluie de graines variée

Intérêt pour les processus de régénération naturelle

Intérêt de planter des *Ficus* pour la reforestation

An aerial photograph of a rural landscape. A river flows through the upper part of the image, surrounded by lush green vegetation. Below the river, there is a small settlement with several buildings, some with thatched roofs, and a blue cylindrical water tank. The foreground is dominated by a large, open agricultural field with distinct rows of crops, likely corn. The overall scene is a mix of natural and human-made elements.

Quand les figuiers sont préservés dispersés dans le paysage agricole, les animaux frugivores forestiers traversent des paysages ouverts.

Les figuiers créent de la connectivité

Les *Ficus* arbres des villes

Hong Kong, 27 espèces natives de *Ficus*.

La densité de *Ficus* est du même ordre que dans les forêts tropicales et ils sont visités par l'ensemble de la faune frugivore locale.

Les *Ficus* sont essentiels pour les oiseaux des villes dans les régions tropicales et subtropicales.

Figs (*Ficus*, Moraceae) in Urban Hong Kong, South China. 2006. Corlett RT, BIOTROPICA 38: 116–121.



Mais tout ceci repose sur la survie d'un petit insecte spécialisé à très courte durée de vie

Chaque espèce de *Ficus* est pollinisée par une ou quelques espèces fortement apparentés d'hyménoptères spécialistes qui se reproduisent dans ses figues et ont codiversifié au cours des 80 derniers millions d'années.

Si le pollinisateur disparaît, le figuier hôte ne se reproduit plus et va s'éteindre

Questions :

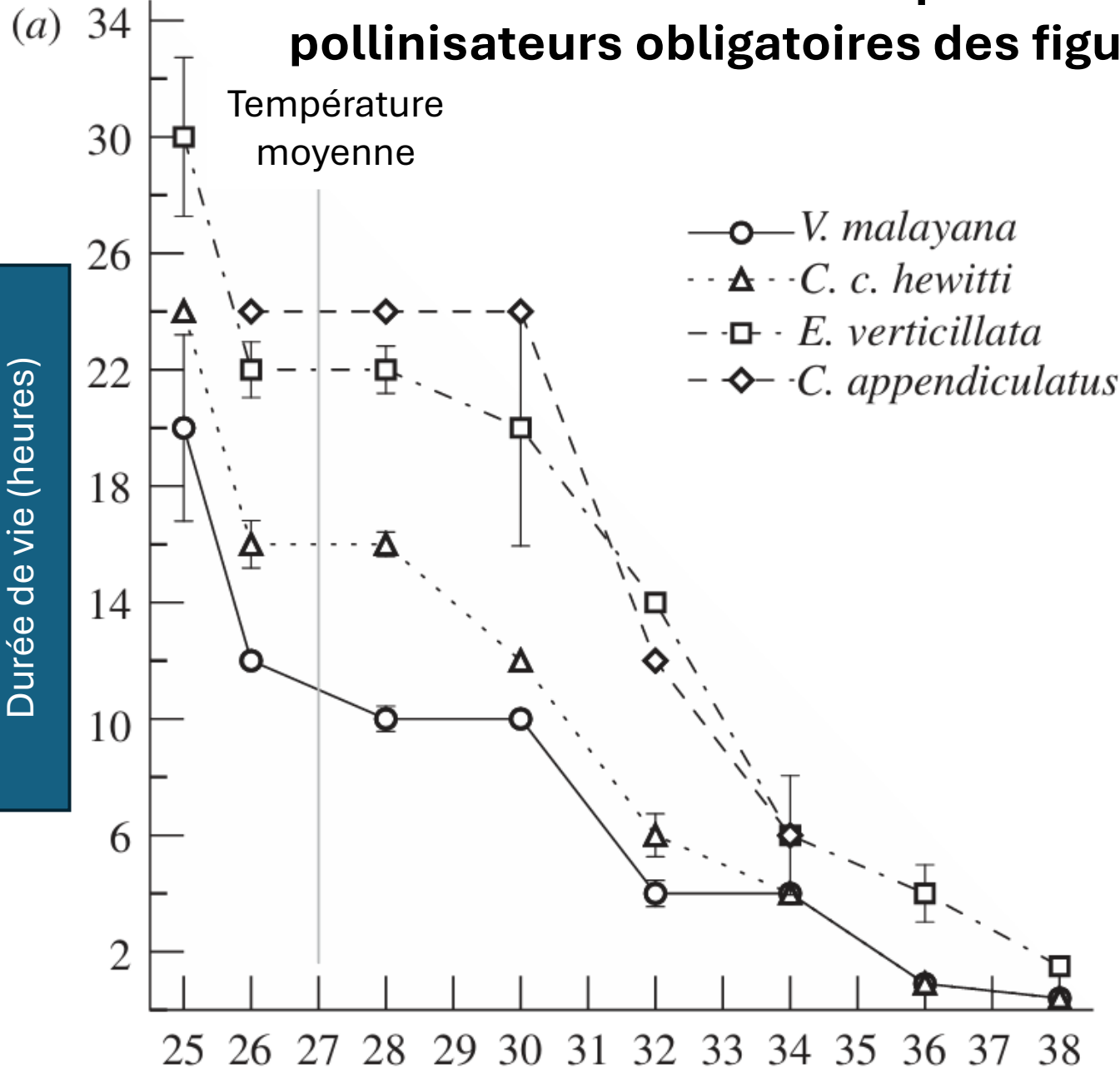
Les pollinisateurs survivront-ils à la hausse des températures,

À la fragmentation des populations

et autres déficits liés aux changements globaux.

Le réchauffement climatique et l'extinction potentielle des pollinisateurs obligatoires des figuiers

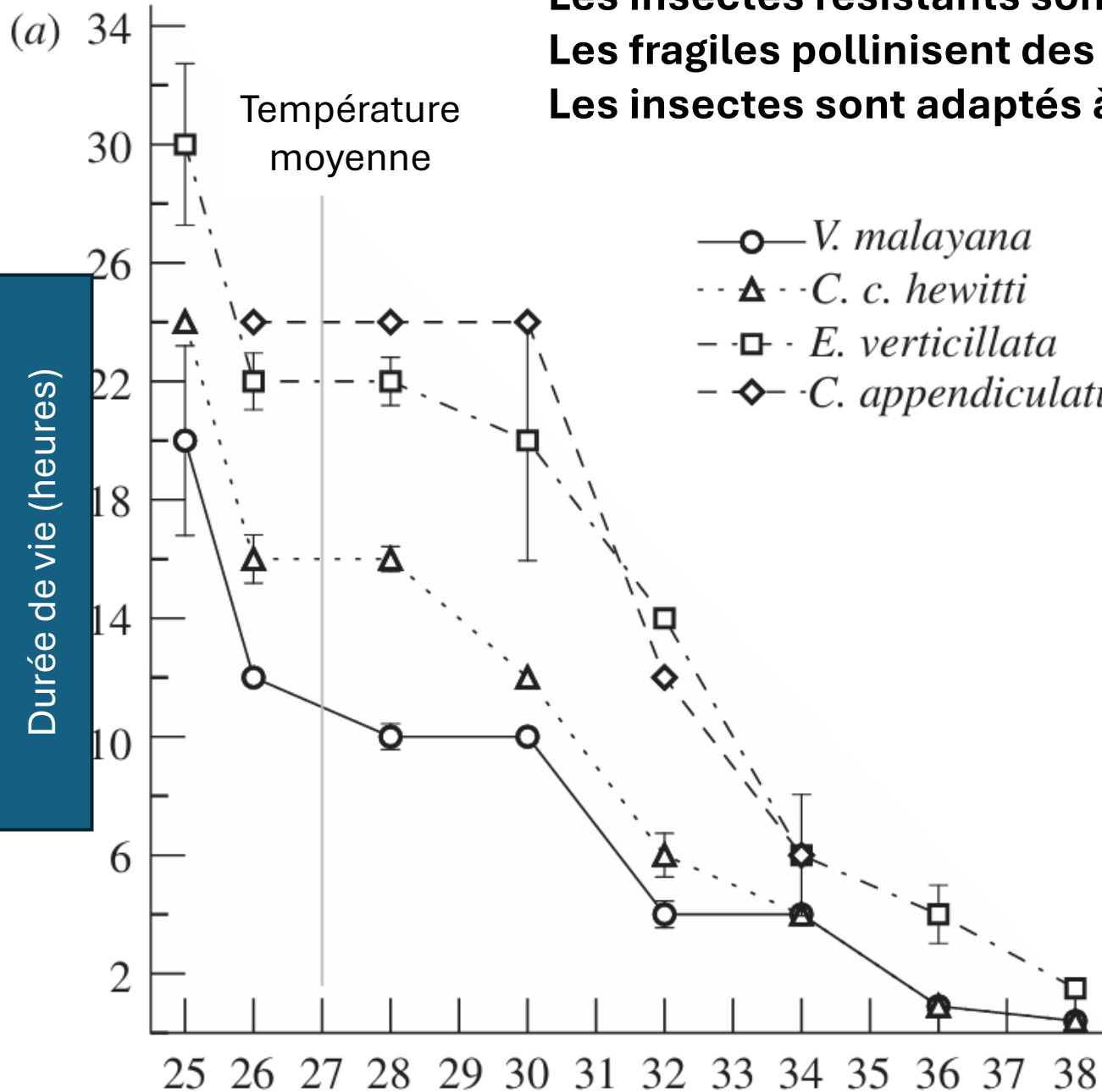
Jevanandam N, Goh AGR, Corlett RT. 2013



Une augmentation de la température de l'air raccourcit fortement la très courte durée de vie des pollinisateurs.

Données Singapour

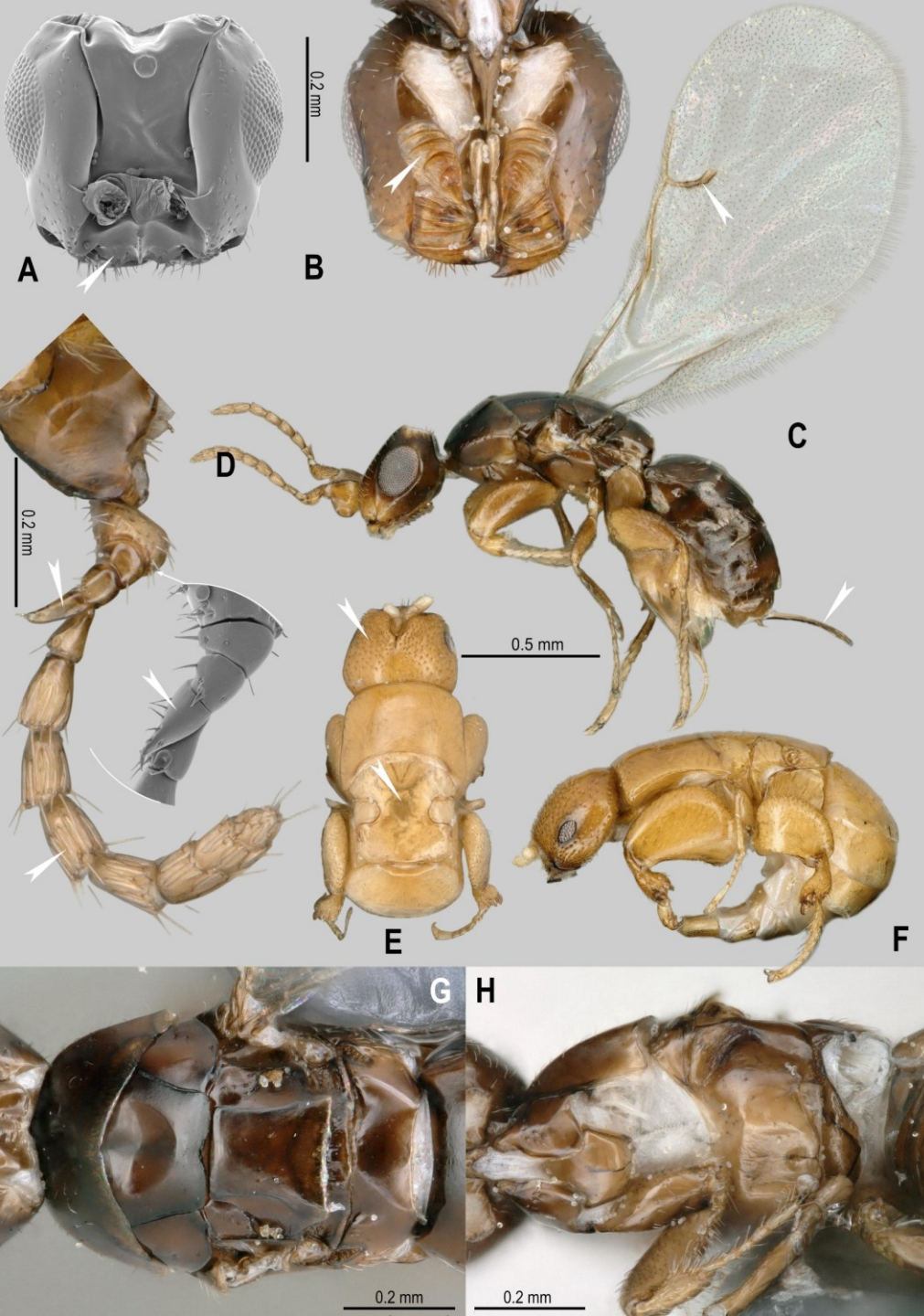
**Les insectes résistants sont les pollinisateurs des grands arbres,
Les fragiles pollinisent des buissons
Les insectes sont adaptés à leur milieu de vie**



Grands arbres :
Ficus variegata (*C. appendiculatus*)
Ficus microcarpa (*E. verticillata*)
Survie 22 heures à 30°

Petit arbre :
Ficus fistulosa (*C. c. hewitti*)
Survie 12 heures à 30°

Buisson :
Ficus grossularioides (*V. malayana*)
Survie 10 heures à 30°



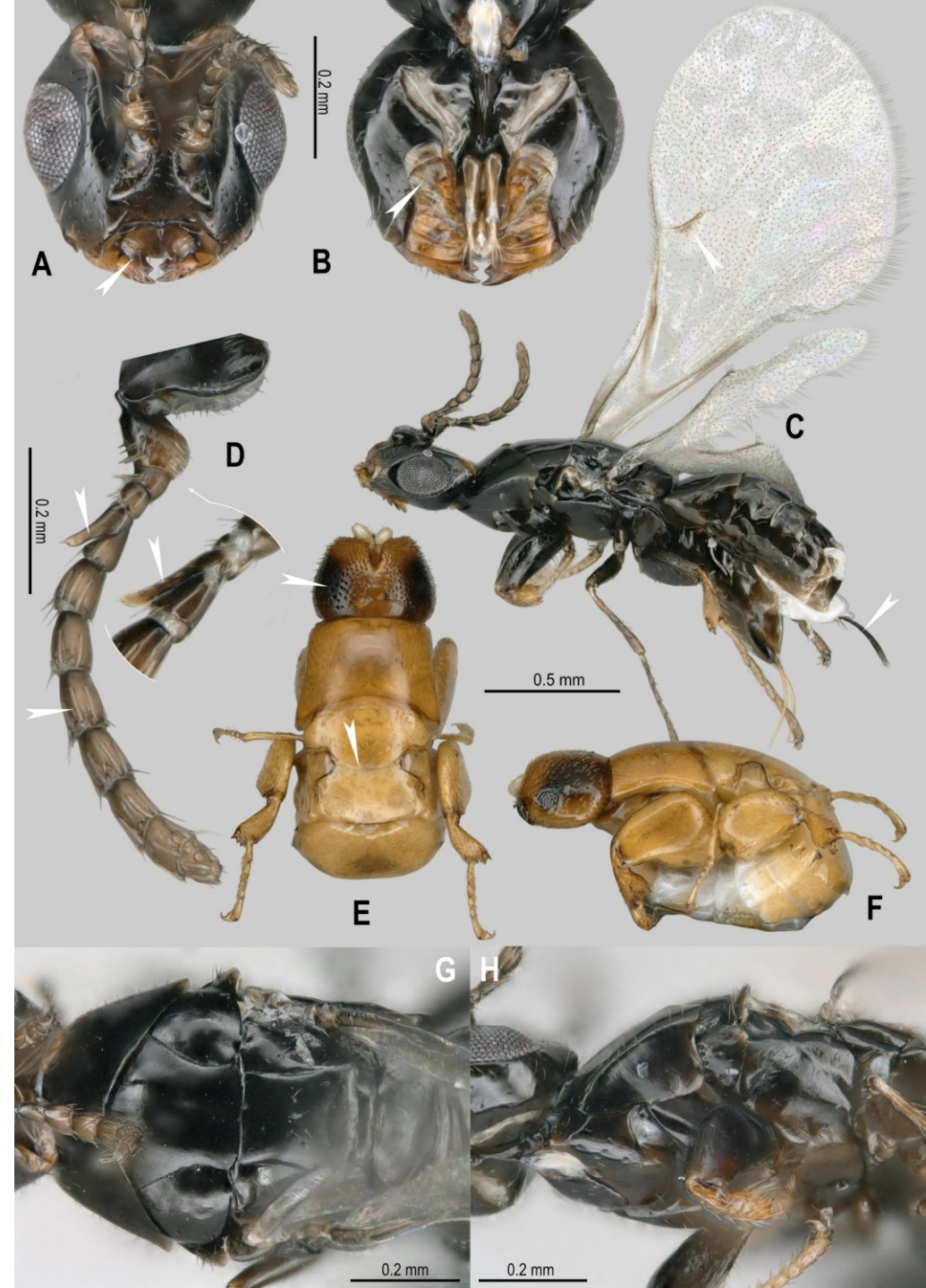
Ficus carica
Ficus palmata

2 espèces sœur
de pollinisateurs,

L'une est adaptée
au doux climat
Montpelliérain

L'autre est
adaptée au désert
Saoudien, elle est
fortement
chitinisée

L'adaptation aux
conditions de vie
est possible, pas
de contrainte
intrinsèque



Les guêpes des figues sont capables de s'adapter à des conditions plus sèches et plus chaudes

A quelle vitesse ?

Certainement très vite du fait de

tailles de populations énormes

de temps de génération courts (2-10 générations par an).

Chaque espèce de *Ficus* est pollinisée par une ou quelques espèces fortement apparentés d'hyménoptères spécialistes qui se reproduisent dans ses figues et ont codiversifié au cours des 80 derniers millions d'années.

Questions :

Les pollinisateurs survivront-ils à la hausse des températures,

À la fragmentation des populations

et autres déficits liés aux changements globaux.

Fragmentation des populations et survie des *Ficus* et de leurs pollinisateurs

Dans l'état de Sao Paulo (Brésil)
la perte d'habitat est énorme

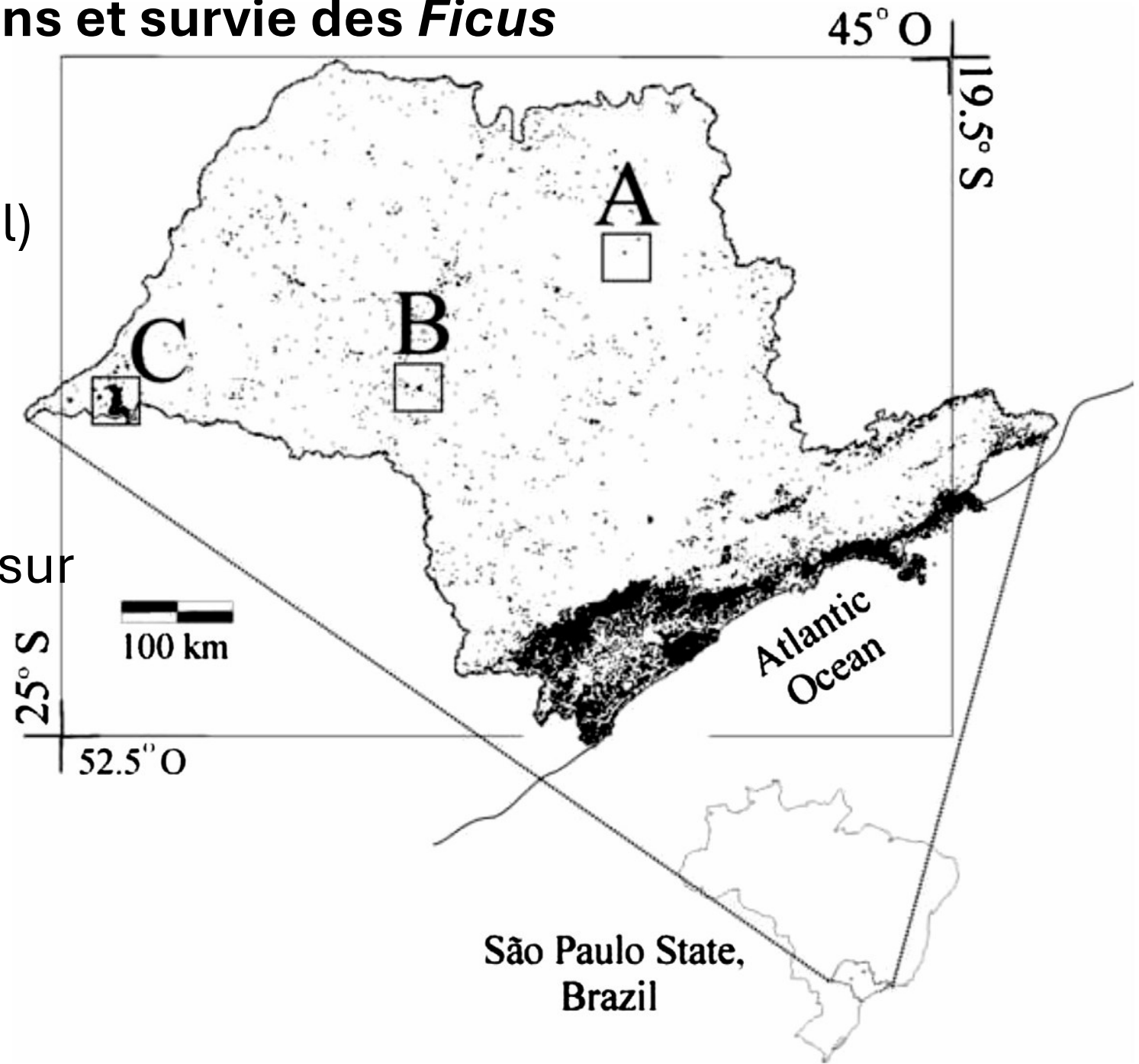
Noir : reste de forêts

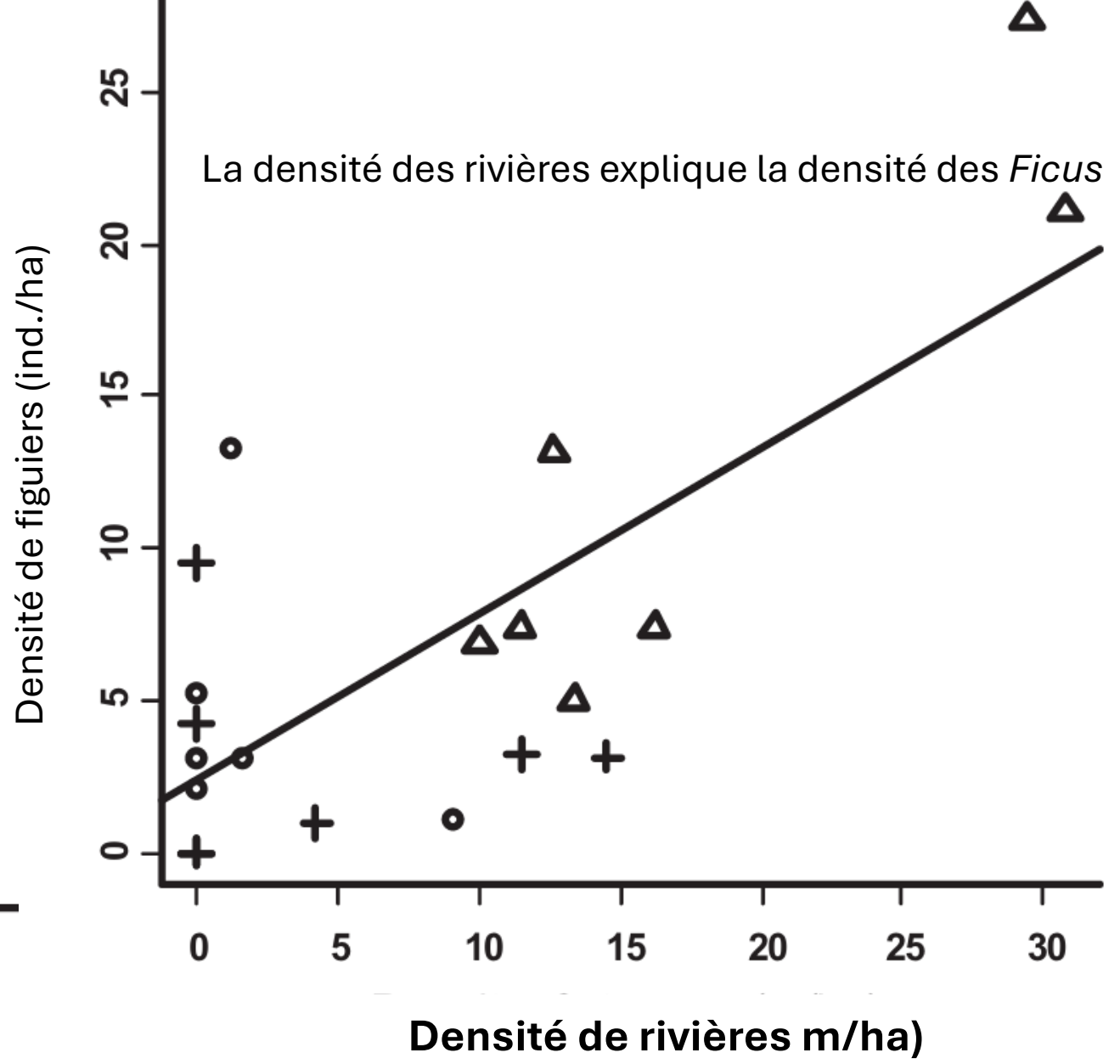
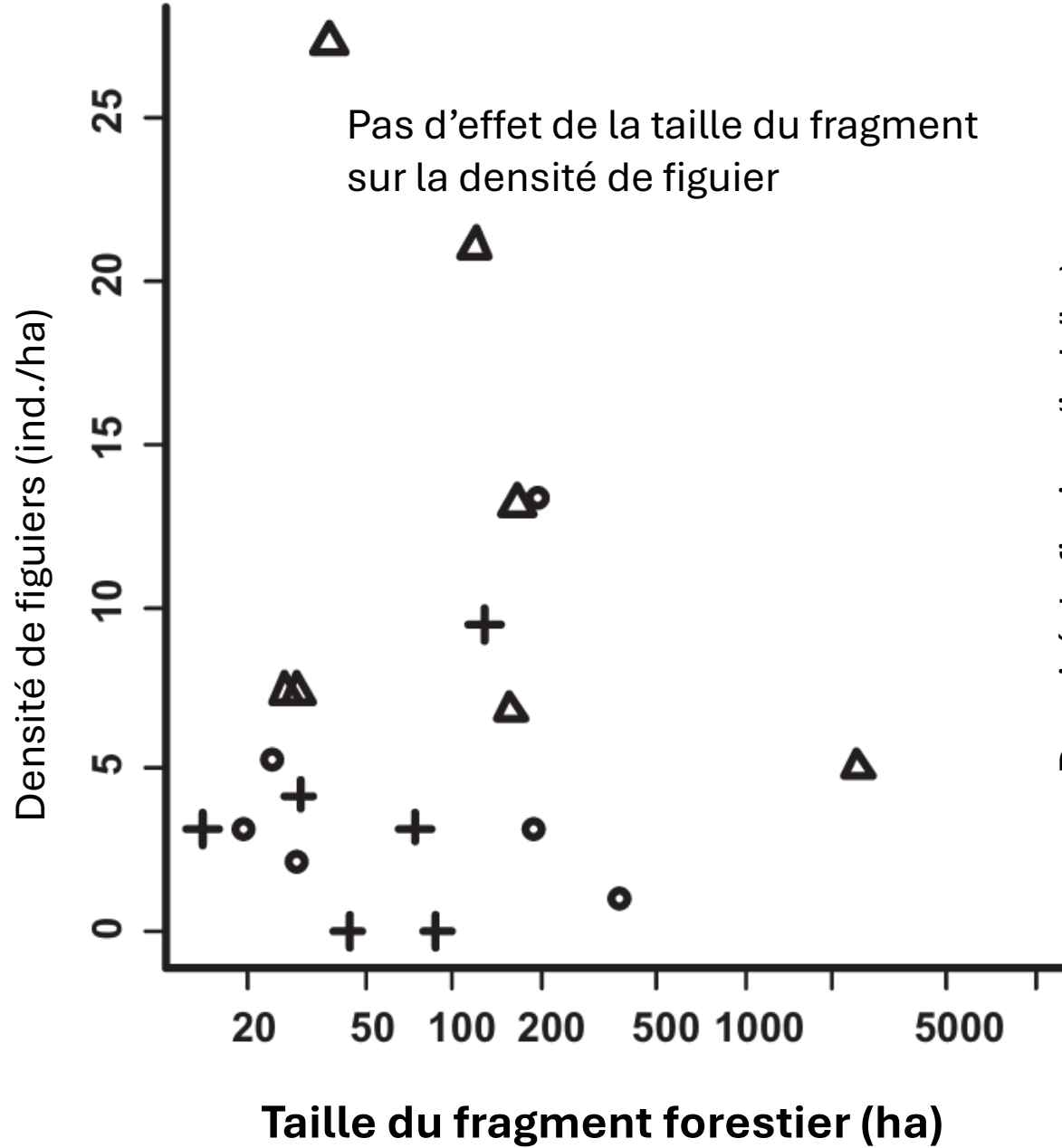
Blanc : champs (canne à sucre)

Quel effet de la fragmentation sur

La densité des *Ficus* ?

La diversité des *Ficus* ?

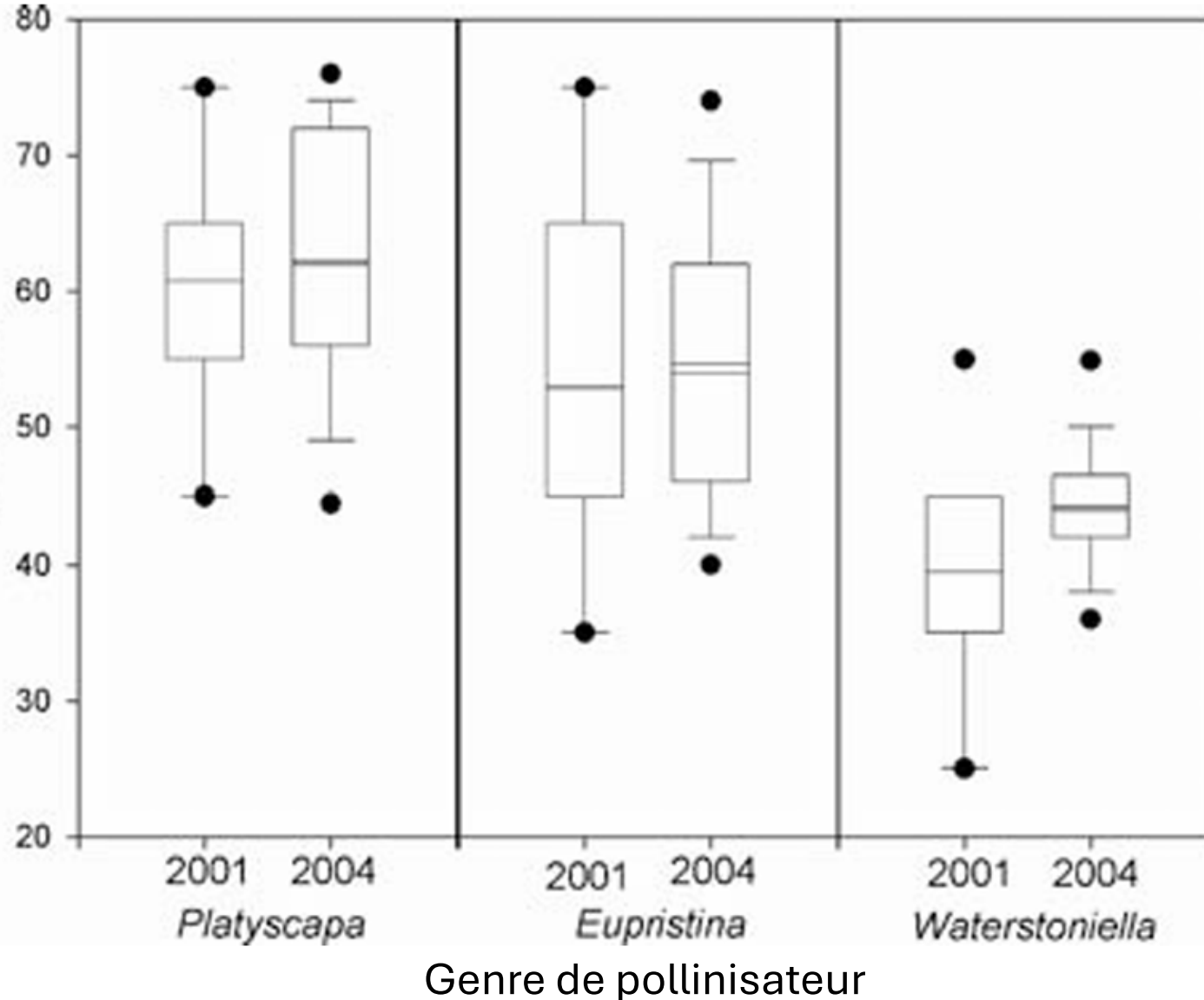




Aucune sensibilité à la taille des fragments forestiers ! Pourquoi ?

**Les pollinisateurs de *Ficus* monoïques dispersent à des distances incroyables se laissant dériver dans le vent au dessus de la canopée
Survie possible à densité incroyablement faible !**

Hauteur de capture



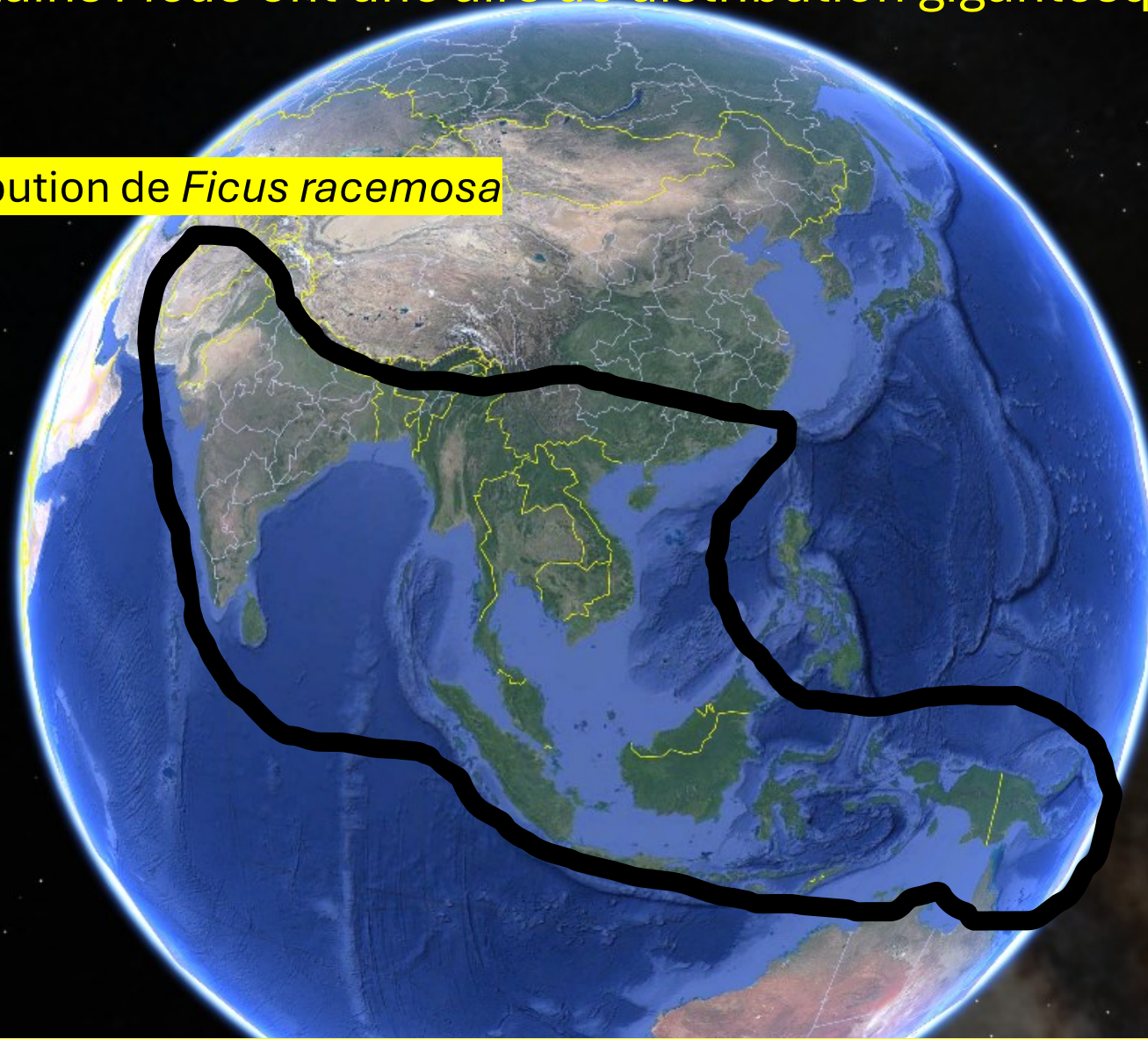
Les insectes volant le plus haut sont les plus dispersants, ils présentent les plus grandes aires de distribution.

Les pollinisateurs de figuiers représentent la moitié des insectes dérivant dans l'air au dessus de la canopée.

Harrison and Rasplus 2006

Certains *Ficus* ont une aire de distribution gigantesque

Distribution de *Ficus racemosa*

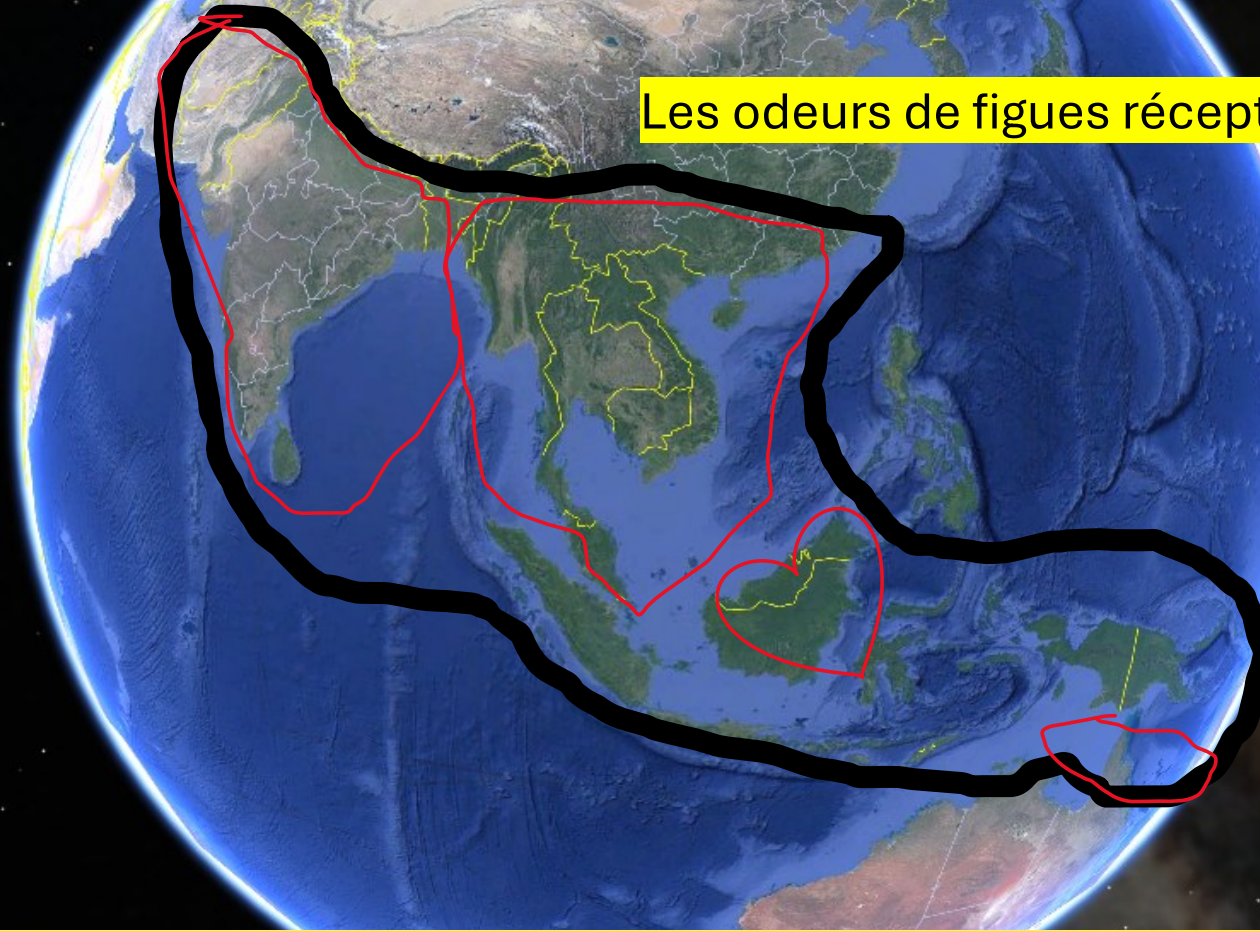


Si le pollinisateur disparaît dans une partie de l'aire de *F. racemosa* il pourra recoloniser à partir d'une autre zone.

Pas si simple, ce sont plutôt des complexes d'espèces

Distribution de *Ficus racemosa* : un complexe d'espèces à distributions séparées

Les odeurs de figes réceptives diffèrent entre espèces



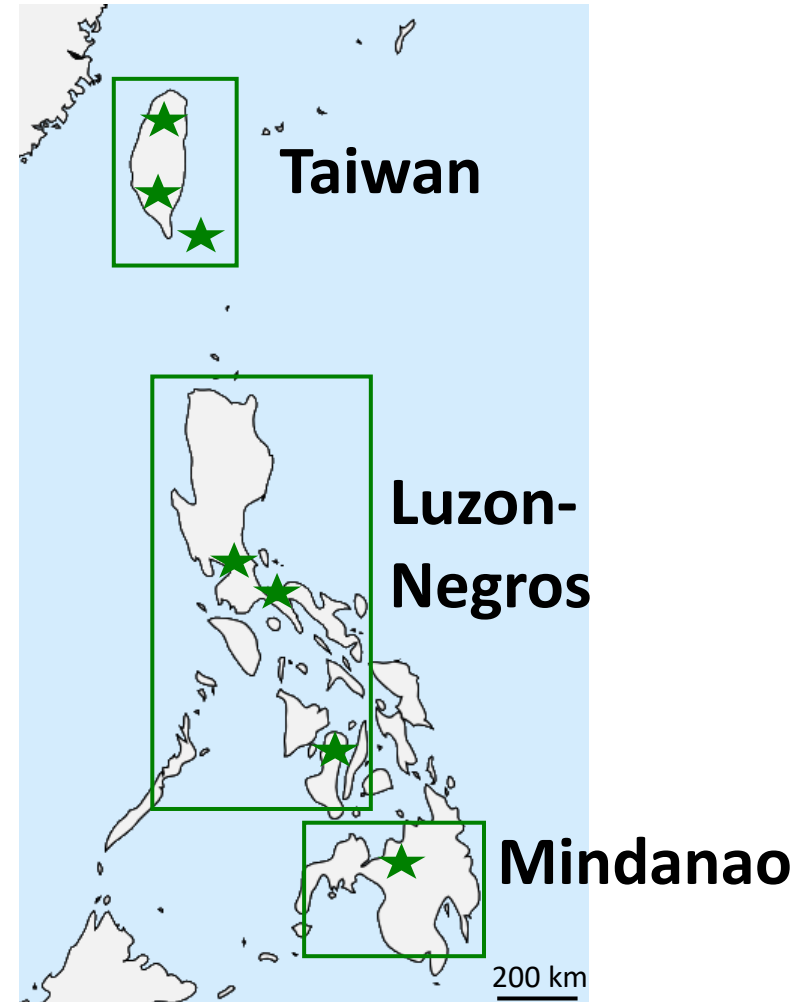
Si le pollinisateur disparaît dans une partie de l'aire de *F. racemosa*, le pollinisateur d'une autre zone ne pourra peut-être pas recoloniser !

Est-ce que la séparation de *Ficus* à large distribution en complexes d'espèces sœurs diminue les possibilités de recolonisation après extinction d'un pollinisateur ?

Le cas de *Ficus septica*.

Ficus septica aux Philippines-Taiwan : 3 entités génétiques (=3 espèces)

**Les 3 espèces ont des
odeurs de figues
réceptives différentes**



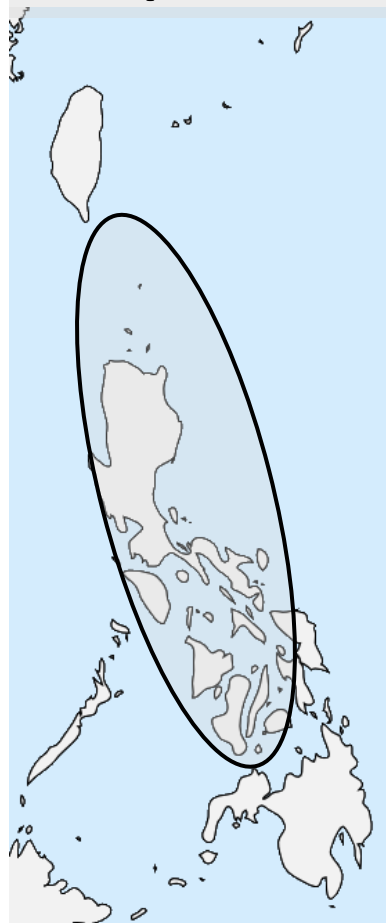


Trois espèces de pollinisateurs de couleur noire, une par espèce de figuier

espèce 1



espèce 2

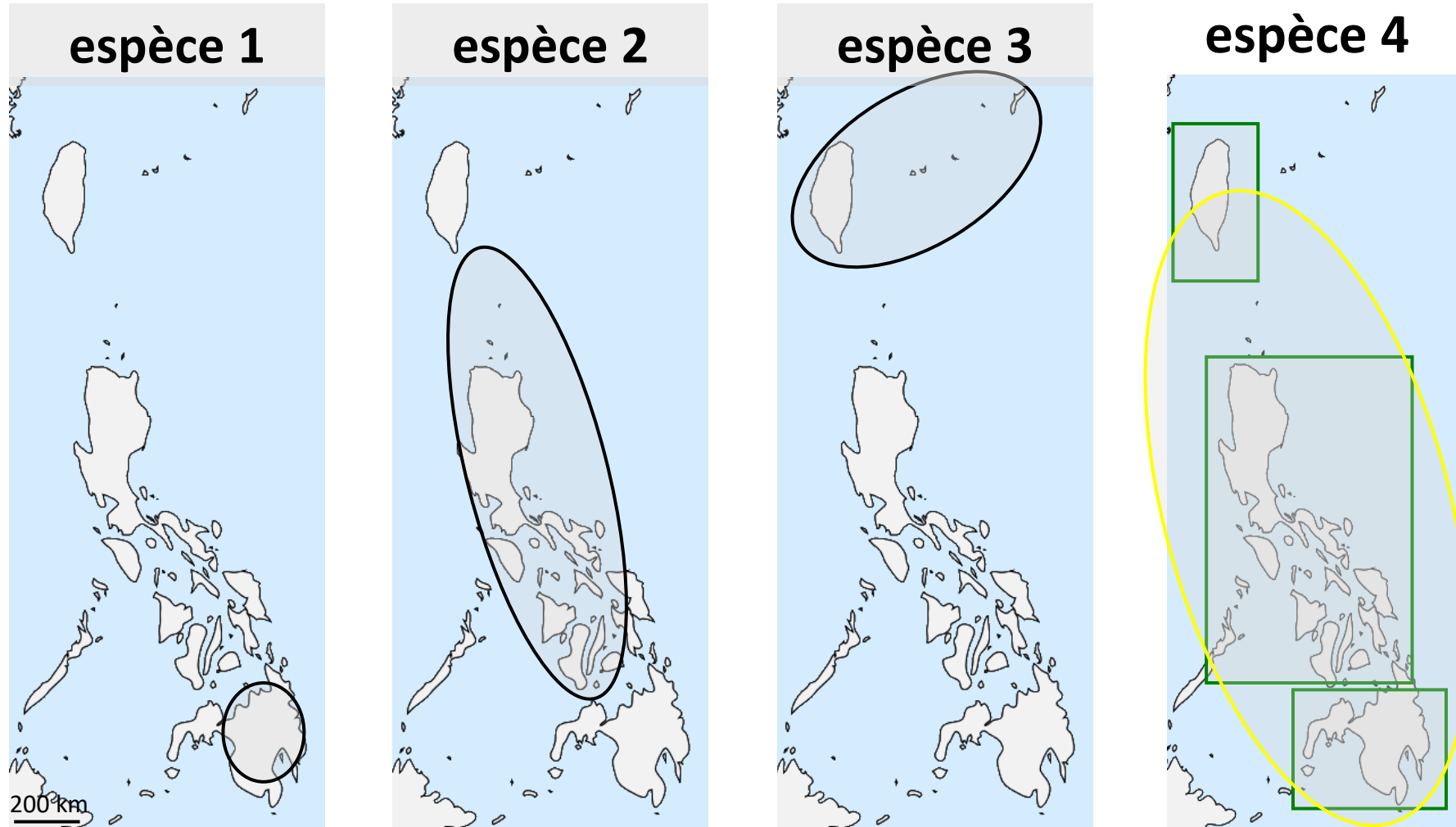


espèce 3





Les pollinisateurs noirs sont hôte-spécifiques, le pollinisateur jaune a récemment colonisé les 3 espèces du complexe de *F. septica*.



Les différences de signal attractif entre espèces de *Ficus* proches n'a pas empêché la colonisation d'une espèce par le pollinisateur d'une autre espèce de *F. septica*. Résilience du système !

Est-ce que la séparation de *Ficus* à large distribution en complexes d'espèces sœurs pose un problème à la survie des pollinisateurs ?

Il est probable que cela ne fragilisera pas beaucoup le système.

La disparition d'un pollinisateur spécifique n'est pas forcément fatale à une espèce de figuier, s'il existe des espèces de figuiers proches du point de vue génétique à proximité.

Un figuier ornemental planté loin de tout figuier apparenté reste non-visité, stérile.

Le cas de notre figuier *Ficus carica* et de son pollinisateur *Blastophaga psenes*



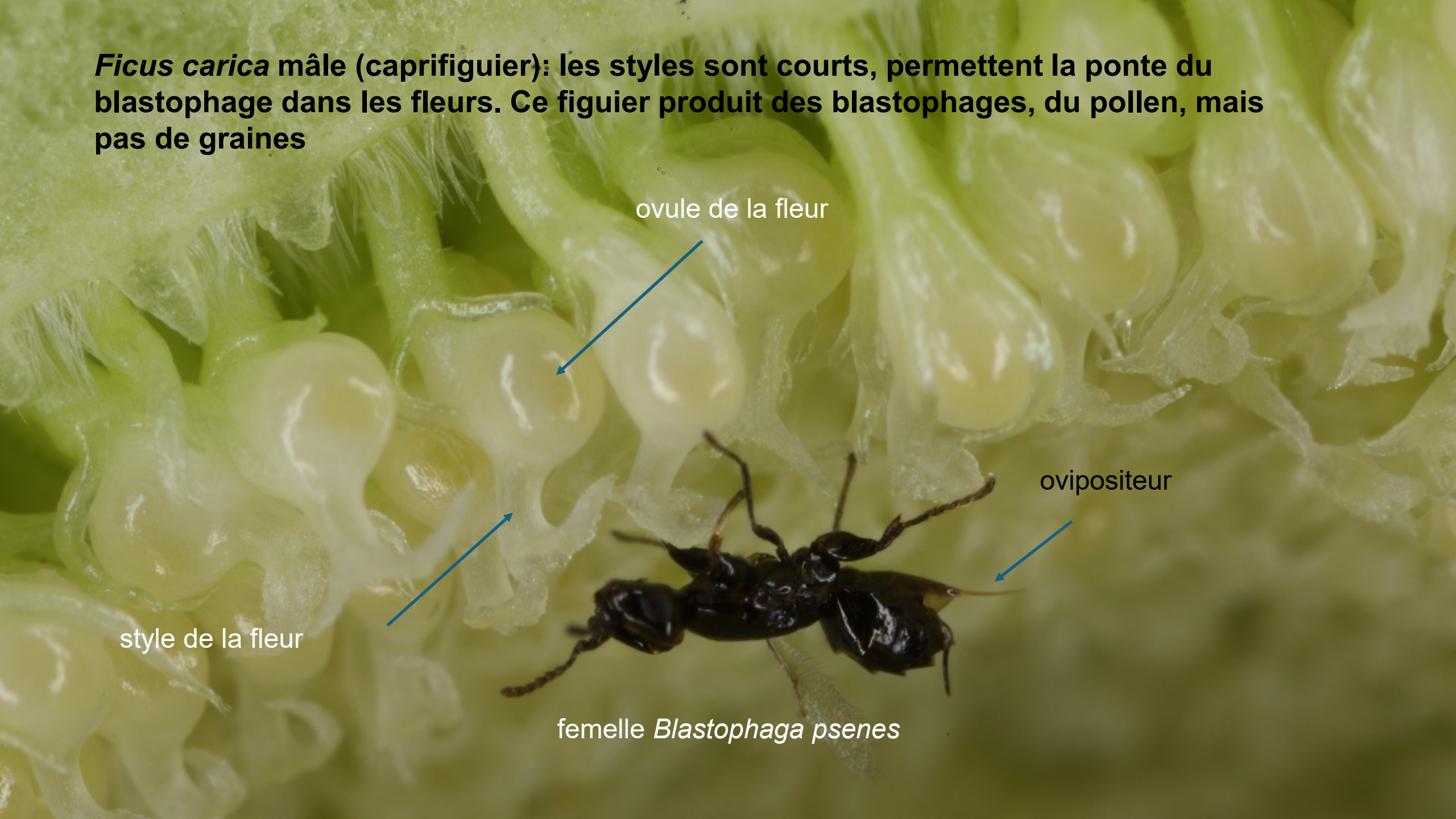
***Ficus carica* mâle (caprifiguiier): les styles sont courts, permettent la ponte du blastophage dans les fleurs. Ce figuier produit des blastophages, du pollen, mais pas de graines**

ovule de la fleur

ovipositeur

style de la fleur

femelle *Blastophaga psenes*



***Ficus carica* mâle (caprifiquier): blastophage en train de pondre**



blastophage en train de pondre dans une fige réceptive

***Ficus carica* femelle (figuier domestique) : les styles sont longs, le blastophage ne peut pas pondre, la figue produira des graines. Ce sont les figues que nous mangeons**



Dans les années 80 les populations du pollinisateur s'arrêtaient au sud de Poitiers et parvenaient tout juste jusqu'à Lyon.

En 2022, le pollinisateur de *Ficus carica* est bien implanté en Allemagne.

Rehberger et al. 2024



Chez notre figuier méditerranéen, la réponse au réchauffement climatique a été très rapide.

Les pieds de figuiers étaient déjà présents au nord de l'aire naturelle de reproduction, mais le blastophage n'arrivait pas à boucler son cycle annuel à 2 générations.

Dès que le climat l'a permis, le blastophage a colonisé

Conclusion générale

Les *Ficus* fournissent une série de services écosystémiques.

Malgré, ou à cause de leur mutualisme de pollinisation hyperspécifique ce sont des colonisateurs.

Ils sont fortement résistants aux perturbations, beaucoup d'espèces en bénéficient.

Quelques espèces disparaîtront, mais beaucoup survivront aux changements globaux.

Ils continueront de fournir les mêmes services écosystémiques.