

Changements globaux et invasions d'insectes : Peut-on prévoir les invasions à venir ?



Alain ROQUES

Directeur de Recherches Emérite INRAE
Unité de Recherches Zoologie Forestière
Orléans



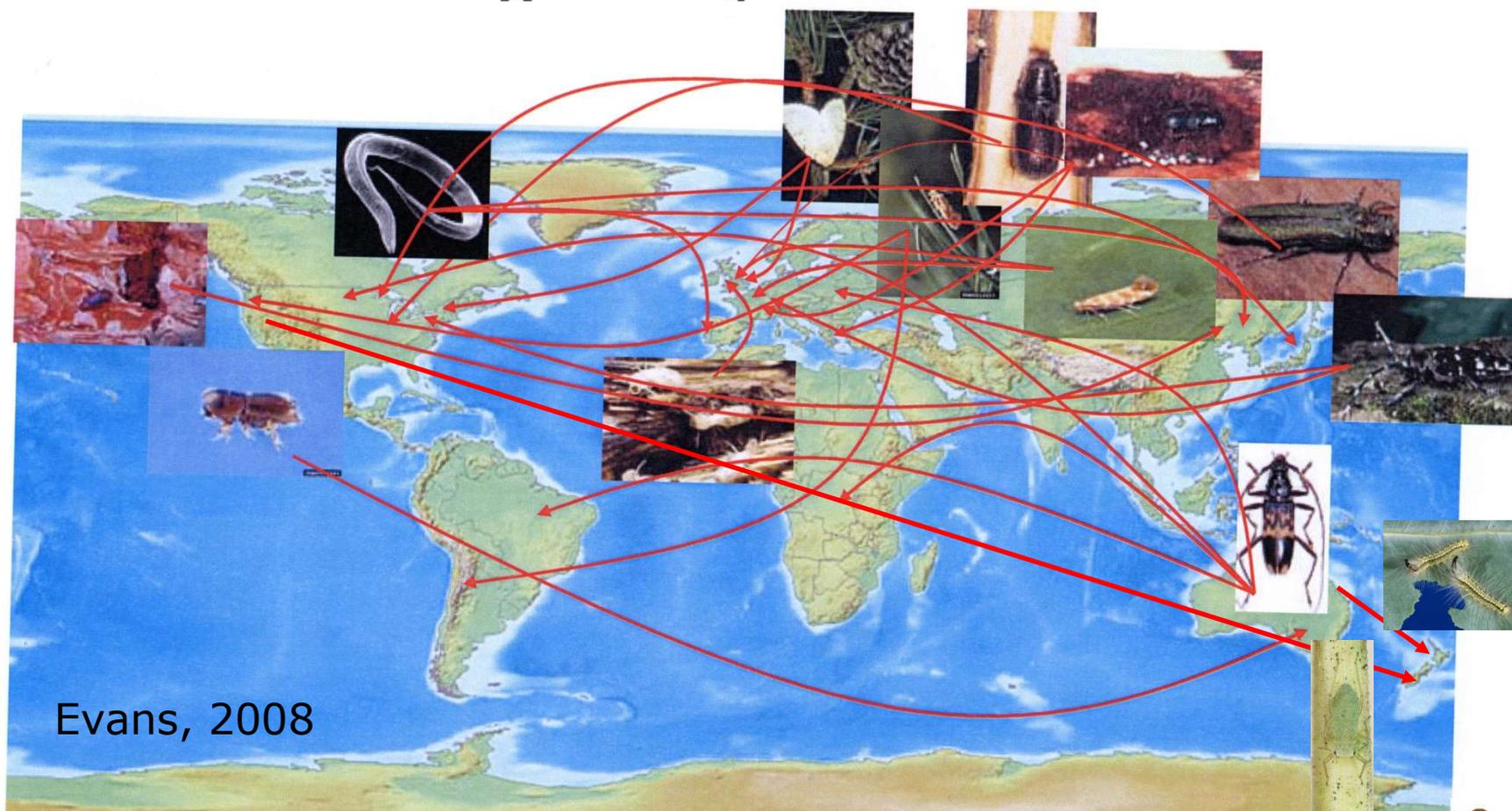
Les questions- clés

- I. Peut-on s'attendre à une saturation rapide des invasions avec la mondialisation galopante ?
- II. Quelles espèces bénéficient le plus de cette mondialisation ?
- III. Comment se dispersent ces espèces une fois établies ?
- IV. Quelles relations avec le réchauffement climatique ?**
- V. Quels outils pour identifier les envahisseurs potentiels en amont de leur arrivée et quels outils pour détecter de manière précoce les envahisseurs dès leur incursion ?
- VI. Les points à retenir

I- Peut-on s'attendre à une saturation rapide des invasions ?

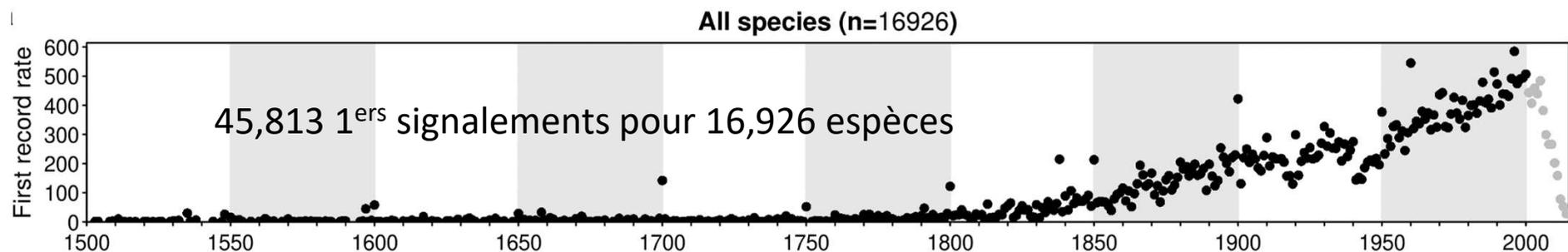
Mondialisation:

Des organismes non-indigènes transportés plus rapidement que jamais dans toutes les directions à travers le monde



Est-ce que le rythme des invasions décline avec le temps ? Non !

Pas de saturation au niveau mondial dans l'établissement de nouvelles espèces exotiques



Tendance temporelle globale pour les 1^{ers} signalements de toutes espèces animales et végétales confondues



ARTICLE

Received 16 Feb 2016 | Accepted 28 Oct 2016 | Published 15 Feb 2017

DOI: 10.1038/ncomms14435

OPEN

No saturation in the accumulation of alien species worldwide

Hanno Seebens et al.^{†*}

12ème CIRAA- Montpellier, 26/10/2021

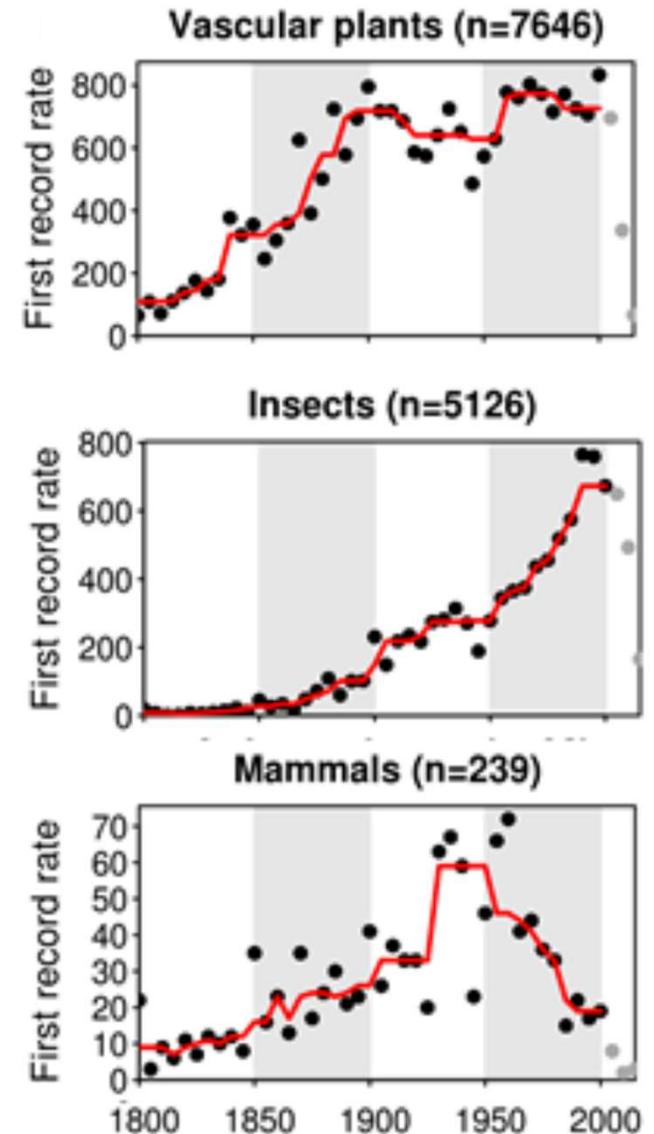


Mais des différences entre groupes comme entre régions

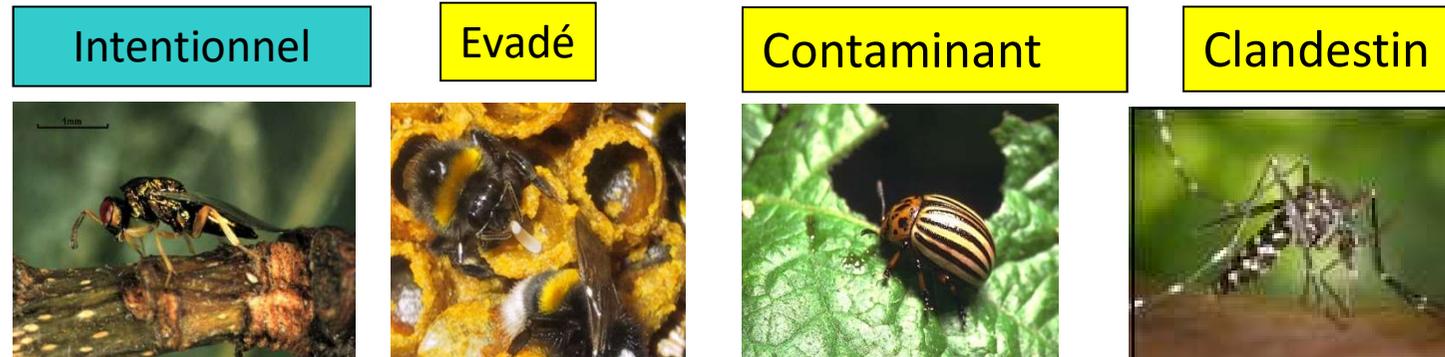
Accroissement exponentiel pour les insectes vs. baisse des mammifères et stabilité relative des plantes

Changement dans le mode d'introduction: ***Prédominance des introductions accidentelles vs. volontaires***

(Seebens et al., 2017, Nat Comm)



Les introductions accidentelles sont la source dominante des insectes envahissants établis



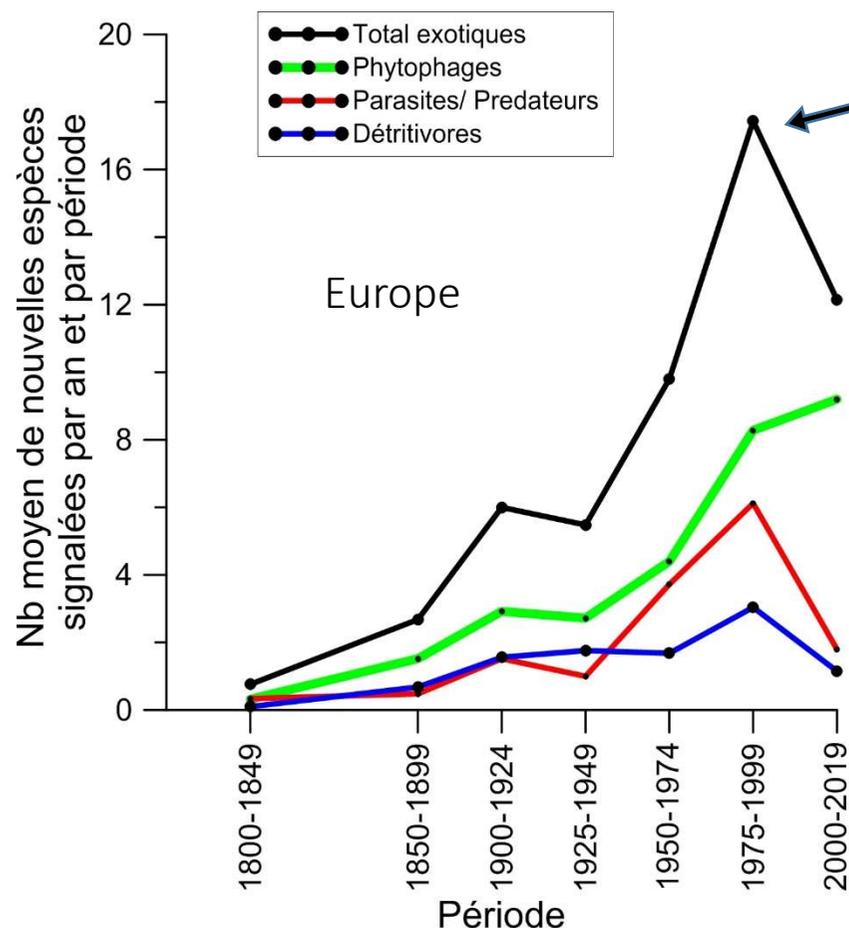
	Intentionnel	Evadé	Contaminant	Clandestin
Plantes	17%	51%	20%	13%
Mammifères	64%	36%	0%	0%
Oiseaux	88%	12%	0%	0%
Amphibiens	70%	21%	5%	4%
Insectes	7%	3%	72%	18%

Données pour l'Europe: DAISIE Handbook of Alien Species in Europe (2009)

II- Quelles espèces bénéficient le plus de cette mondialisation ?

Focus sur l'Europe:

L'accélération exponentielle du taux d'établissement d'insectes exotiques est liée à l'arrivée de nouveaux phytophages



- 2 fois plus d'espèces/ an que dans les années 1950 (données partielles pour 2000-2019)

- Due à l'arrivée d'espèces phytophages (*9.5 nouvelles espèces par an depuis 2000 vs. 4.5/an durant 1950-1975*) (Roques et al., 2020)

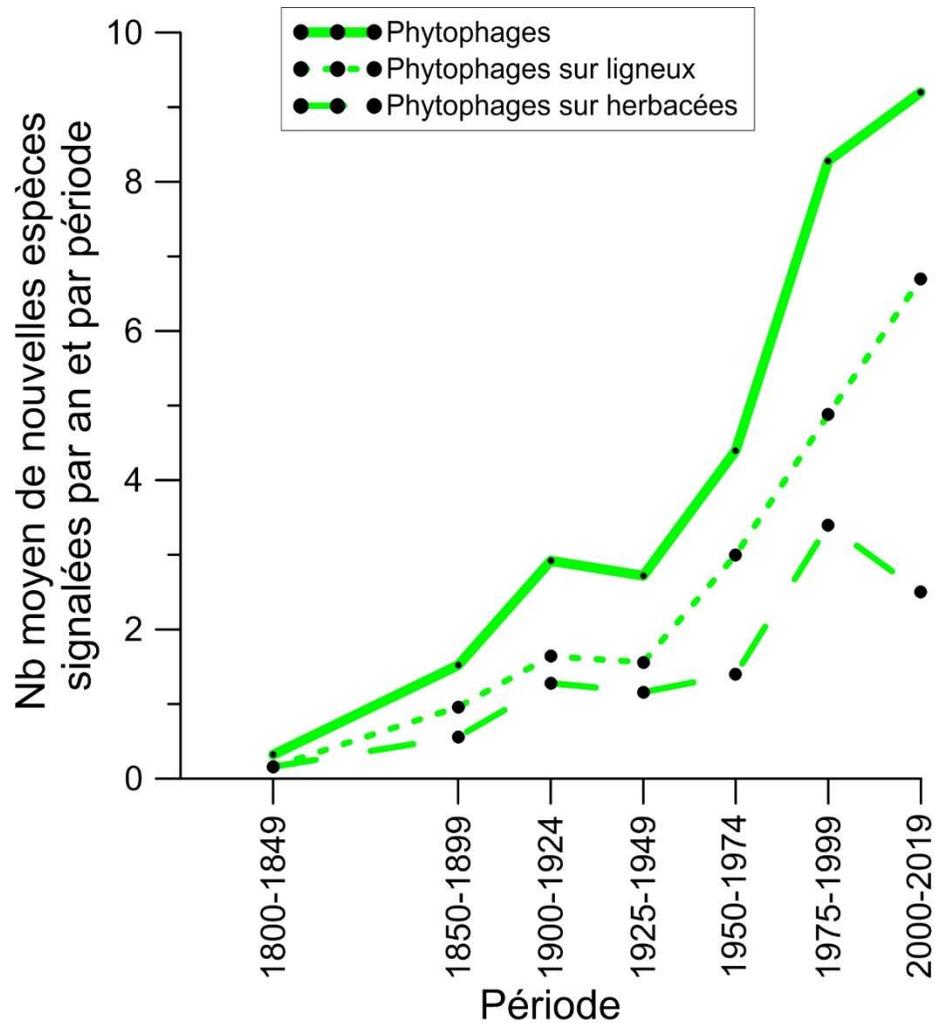
- Autres groupes



Données: EU DAISIE 2005- 2008

Update: EU JCR- EASIN 2019; www.easin.org

L'accroissement en phytophages exotiques dû aux espèces liées aux plantes ligneuses plus qu'aux herbacées et grandes cultures



frontiers
in Forests and Global Change

Are Invasive Patterns of Non-native Insects Related to Woody Plants Differing Between Europe and China?

Alain Roques^{1,2*}, Juan Shi^{2,3}, Marie-Anne Auger-Rozenberg^{1,2}, Lili Ren^{2,3}, Sylvie Augustin^{1,2} and You-qing Luo^{2,3}

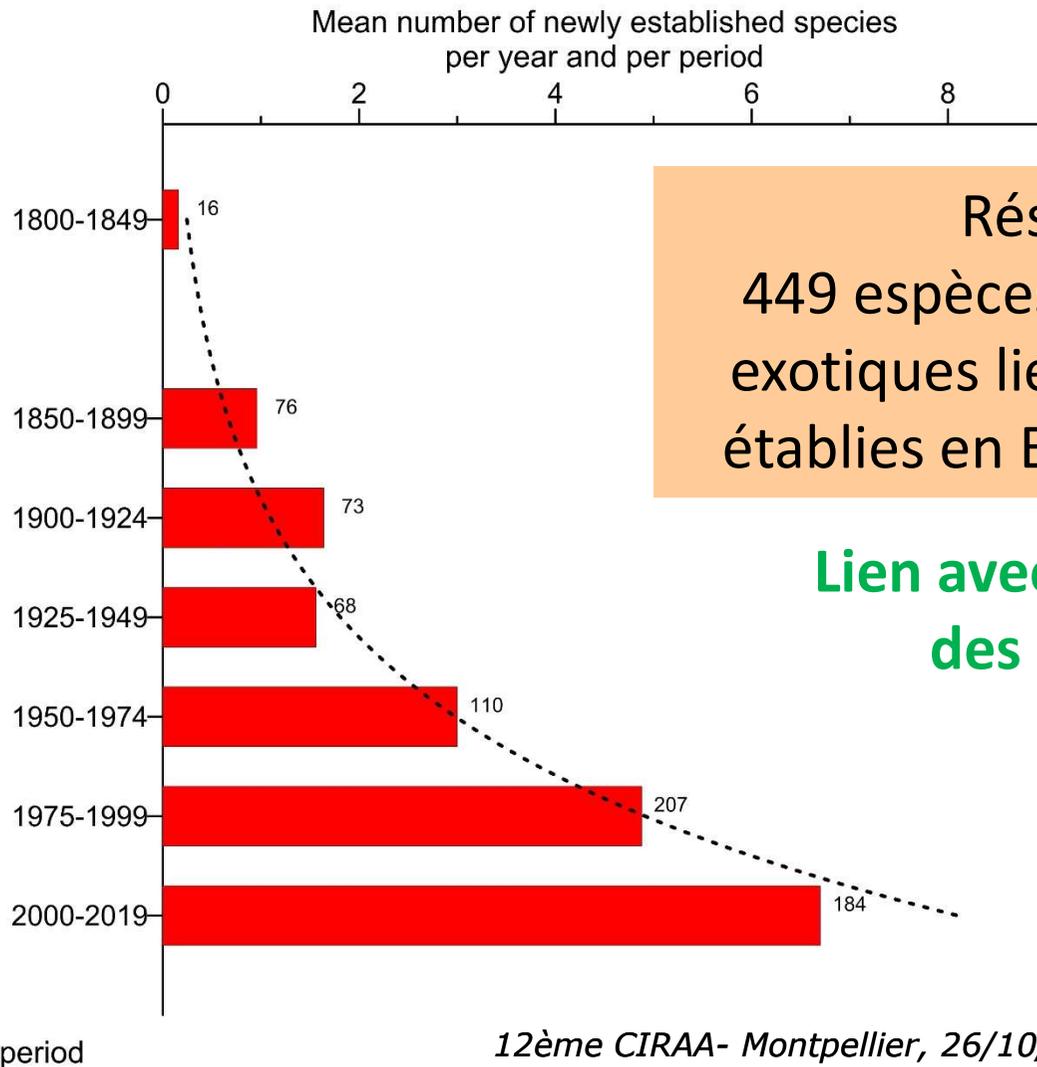
12ème CIRAA- Montpellier, 26/10/2021

INRAE

URZF
UNITÉ DE RECHERCHE
EN AGROLOGIE + GÉNÉTIQUE

2,2 fois plus d'établissements d'insectes exotiques liés aux ligneux que durant la période 1950- 1975

6.7 vs. 3.0 espèces par an



Résultat:
449 espèces phytophages exotiques liées aux ligneux établies en Europe en 2019

Lien avec l'explosion du commerce des plantes ornementales

frontiers
in Forests and Global Change

Are Invasive Patterns of Non-native Insects Related to Woody Plants Differing Between Europe and China?

Alain Roques^{1,2*}, Juan Shi^{2,3}, Marie-Anne Auger-Rozenberg^{1,2}, Lili Ren^{2,3}, Sylvie Augustin^{1,2} and You-qing Luo^{2,3}

ORIGINAL RESEARCH
published: 15 January 2020
doi: 10.3389/fgc.2019.00091

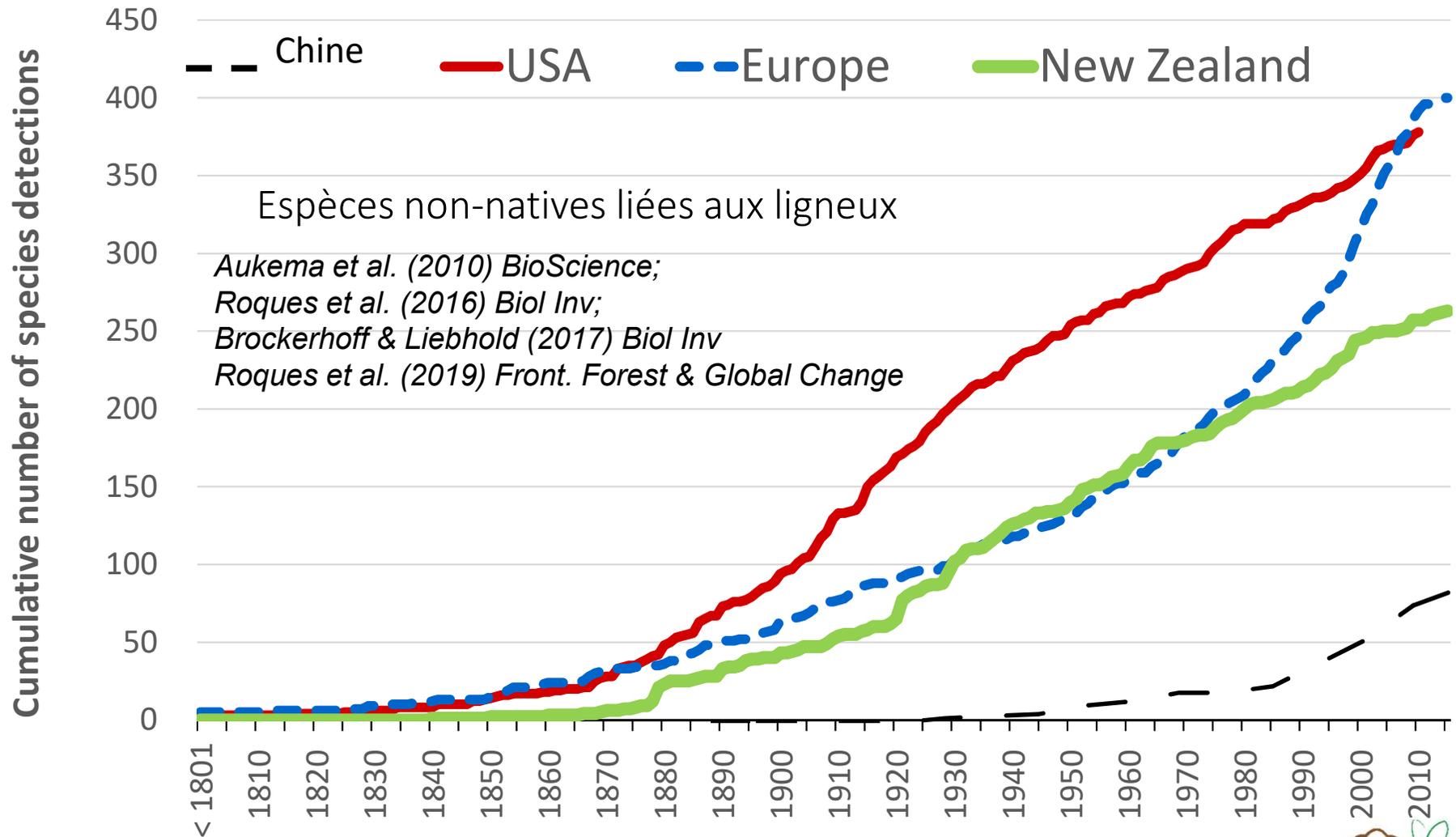


INRAE

URZF
UNITÉ DE RECHERCHE
EN ÉCOLOGIE - GÉNÉTIQUE

12ème CIRAA- Montpellier, 26/10/2021

Des tendances similaires à travers le Globe malgré de larges différences dans les contrôles



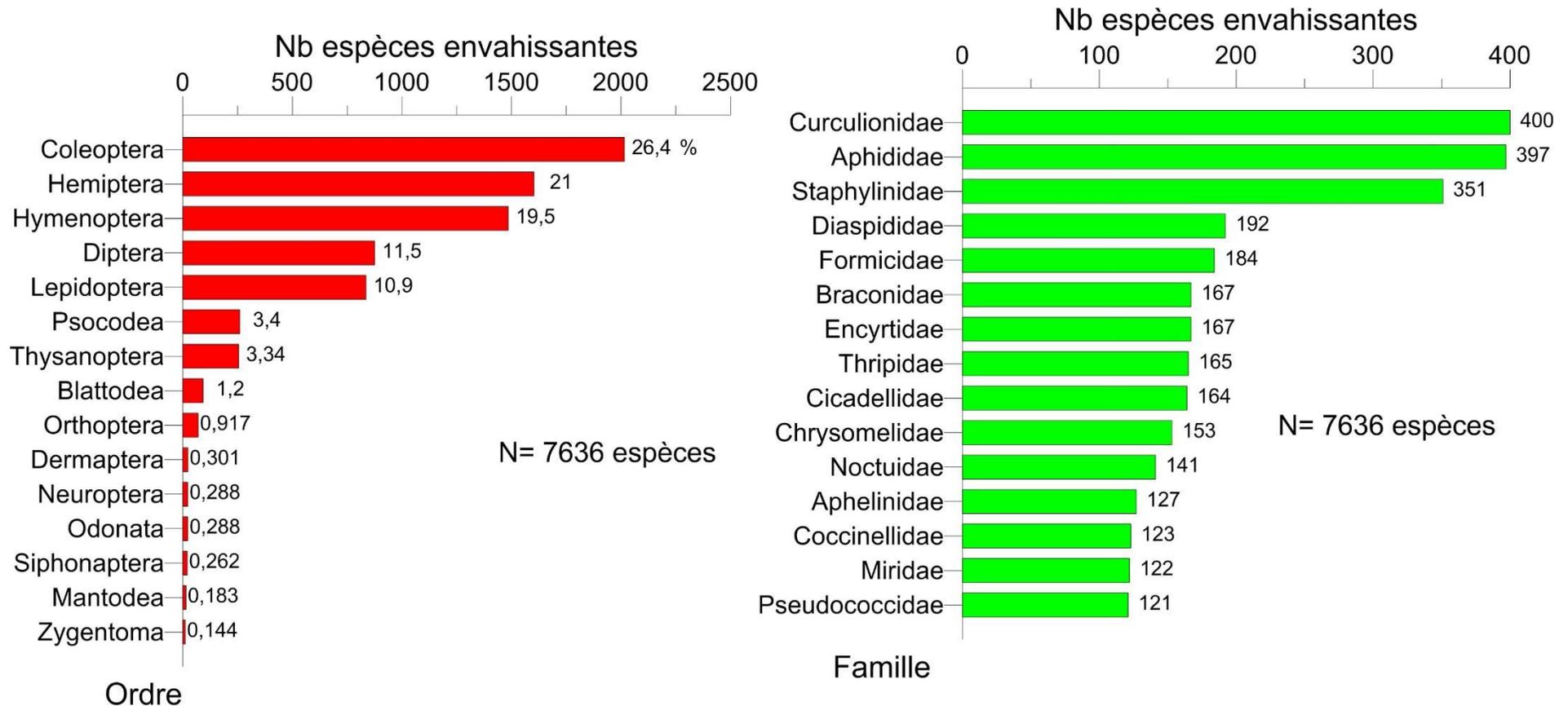
Espèces non-natives liées aux ligneux

Aukema et al. (2010) BioScience;
Roques et al. (2016) Biol Inv;
Brockerhoff & Liebhold (2017) Biol Inv
Roques et al. (2019) Front. Forest & Global Change

Large dominance des Coléoptères et Hémiptères dans les envahisseurs au plan mondial

Base de données sur les invasifs établies en Amérique du Nord, Europe, Australie, Nouvelle-Zélande, Japon, Chine

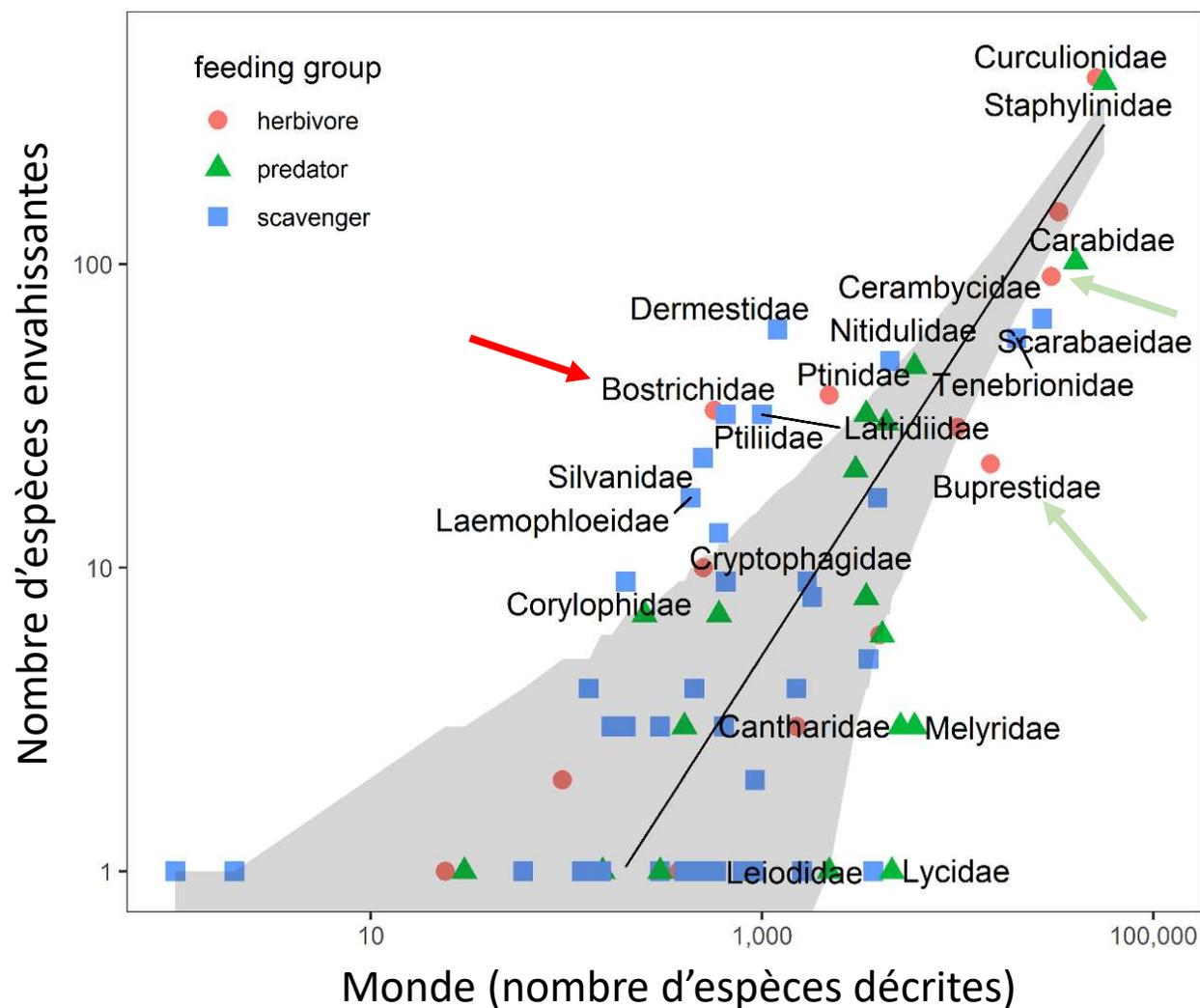
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5245302>



Au niveau famille: Curculionides (en particulier scolytes), Aphides, et Cochenilles (Diaspines-Pseudococcides) – que 71 cérambycides

12ème CIRAA- Montpellier, 26/10/2021

Des familles sur-représentées dans les Coléoptères envahissants en comparaison de leur faune mondiale



Sur-représentation des Bostryches

Sous-représentation des Buprestes et Cerambycides

Received: 10 December 2020 | Revised: 26 May 2021 | Accepted: 18 June 2021
DOI: 10.1111/1365-3113.13381

RESEARCH ARTICLE

Diversity and Distributions WILEY

Invasion disharmony in the global biogeography of native and non-native beetle species

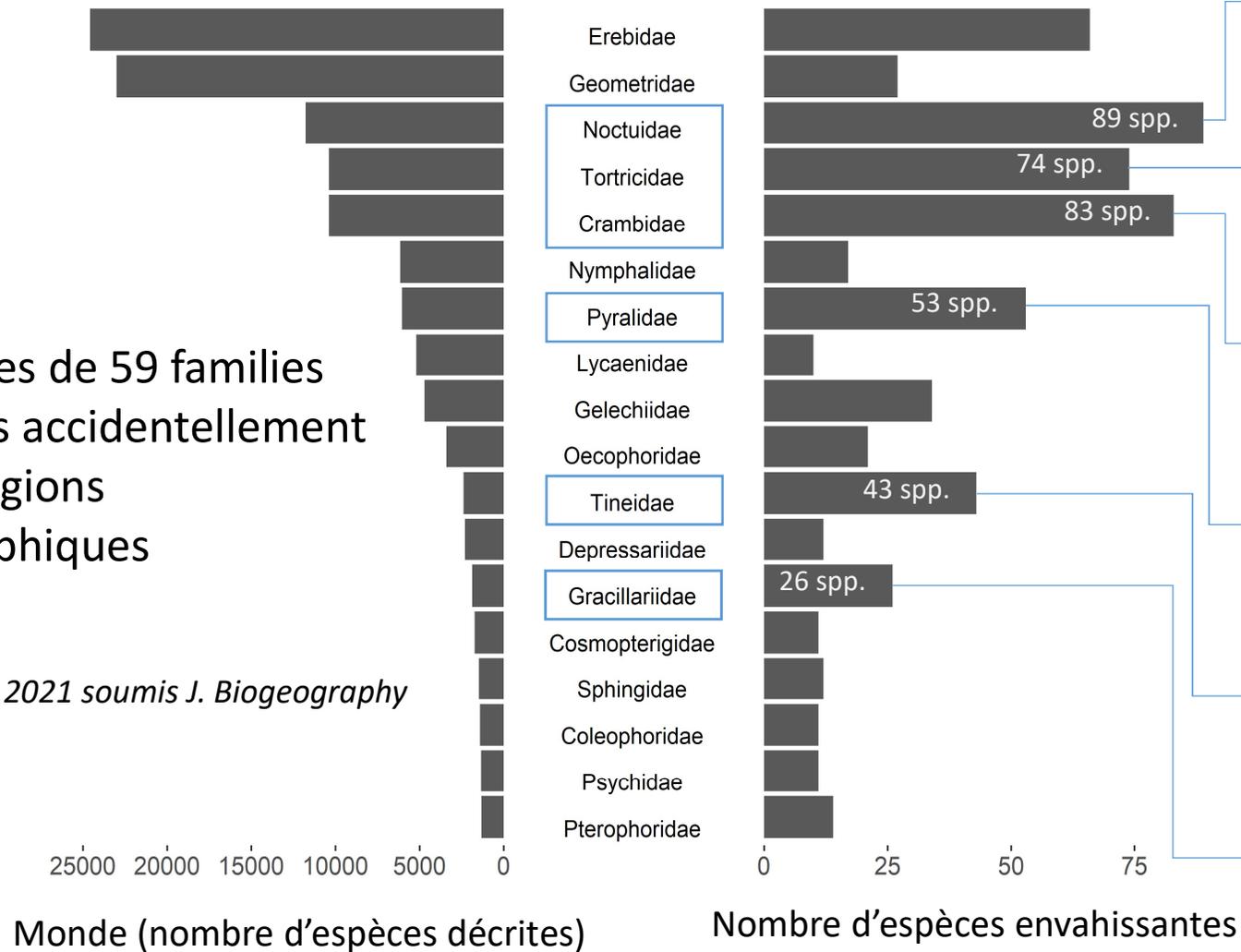
Andrew M. Liebhold^{1,2} | Rebecca M. Turner³ | Rachael E. Blake⁴ | Cleo Bertelsmeier⁵ | Eckehard G. Brockerhoff⁶ | Helen F. Nahrung⁷ | Deepa S. Pureswaran⁸ | Alain Roques⁹ | Hanno Seebens¹⁰ | Takehiko Yamanaka¹¹

12ème CIRAA- Montpellier, 26/10/2021

Une même sur-représentation de certaines familles parmi les Lépidoptères envahissants

742 espèces de 59 familles introduites accidentellement dans 10 régions biogéographiques

Mally et al., 2021 soumis J. Biogeography



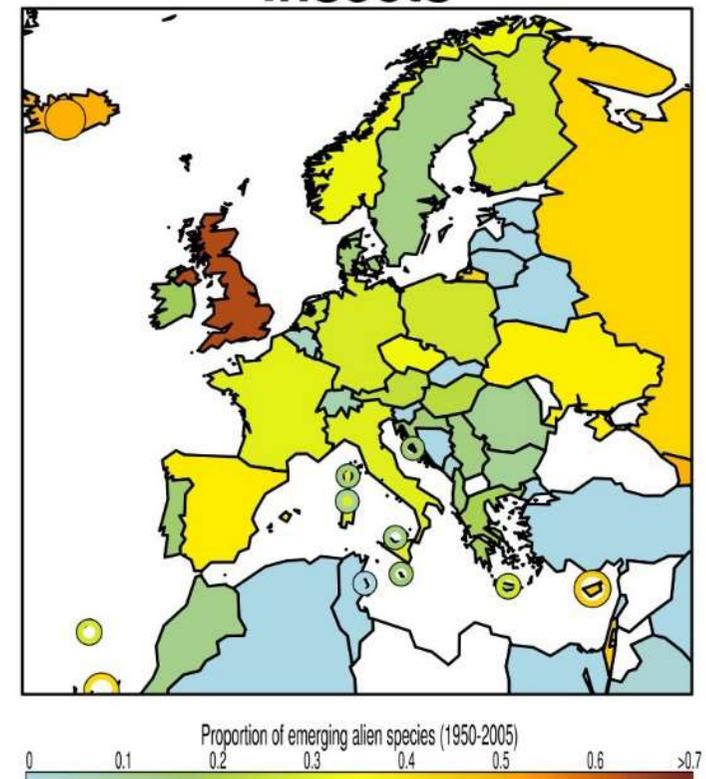
Accroissement continu de la proportion d'espèces dites « émergentes »

Par espèces “émergentes”, on désigne des espèces qui n'ont jamais été précédemment observées comme introduites sur un continent autre que celui d'origine. C'est le cas de la plupart des espèces d'insectes récemment arrivées en Europe:

- Pyrale du buis, *Cydalima perspectalis*
- Mineuse de la tomate, *Tuta absoluta*
- Mouche du robinier, *Obolodiplosis robiniae*
- Frelon asiatique, *Vespa velutina*
- Tenthrède de l'Orme, *Aproceros leucopoda*
- Papillon du palmier, *Paysandisia archon*
- Punaise des graines de conifères, *Leptoglossus occidentalis*



Insects



Global rise in emerging alien species results from increased accessibility of new source pools

Hanno Seebens^{a,b,1}, Tim M. Blackburn^{c,d,e}, Ellie E. Dyer^{c,d}, Piero Genovesi^{f,g}, Philip E. Hulme^h, Jonathan M. Jeschke^{i,j,k}, Shivam Panigrahi^{l,m,n}, Petr Pyšek^{o,p}, Mark van Kleunen^{q,r}, Marten Winter^s, Michael Alonso^t, Margarita Arianooutou^u

Quelques espèces notables récemment arrivées, révélatrices de la diversité des groupes invasifs



Contarinia pseudotsugae
Pityophthorus juglandis *Thaumastocoris*
peregrinus

Xylosandrus compactus
Platynota stultana
Batrachedra enormis
Lopholeucaspis japonica

Aromia bungii
Xylotrechus chinensis
Popilia japonica

Octodonta nipae
Trachymela sloanei
Nematus lipovskyi
Neophyllaphis podocarpi

Et parmi elles les espèces « émergentes »



Contarinia pseudotsugae
Pityophthorus juglandis



Platynota stultana
Batrachedra enormis
Lopholeucaspis japonica



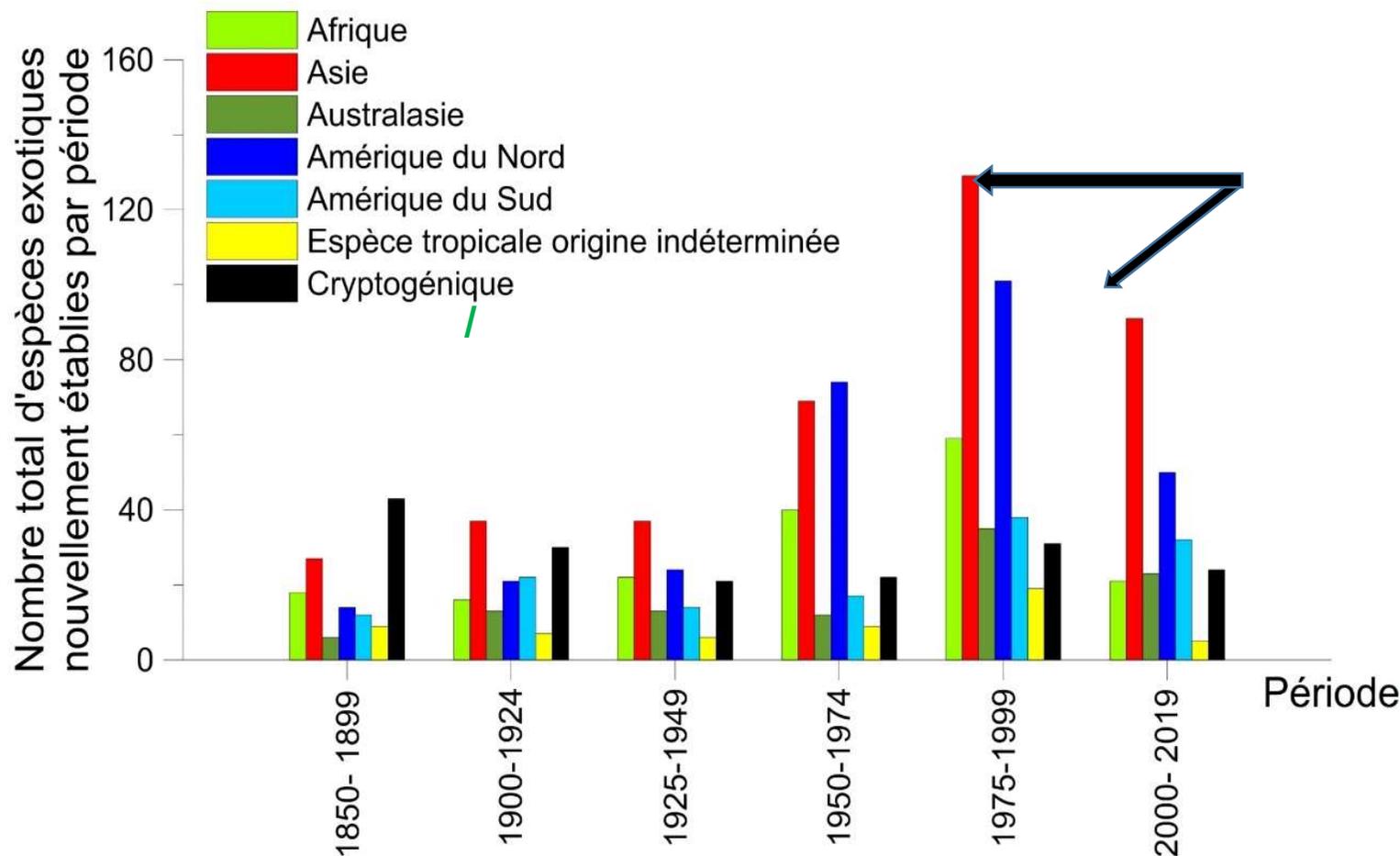
Aromia bungii
Xylotrechus chinensis



Octodonta nipae
Trachymela sloanei
Nematus lipovskyi
Neophyllaphis podocarpi

Pourquoi ces espèces « émergentes » ?

Arrivée de nouveaux pools d'espèces avec de nouvelles routes commerciales « Origine x espèces de plantes »



**Asie (Chine)
désormais
origine
dominante
pour l'Europe**

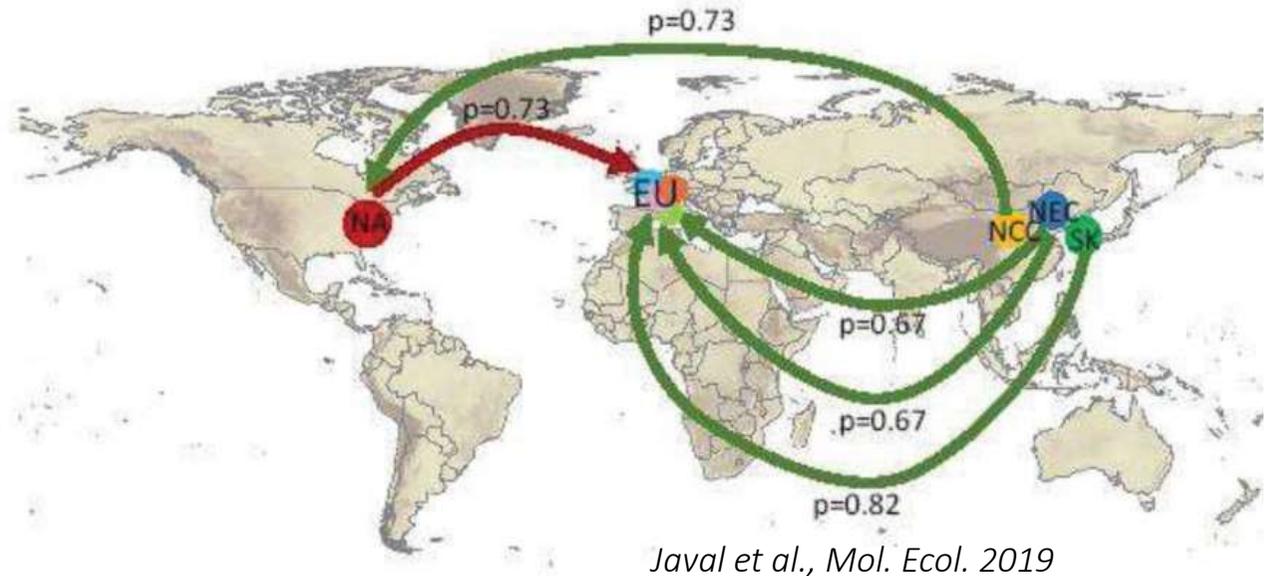
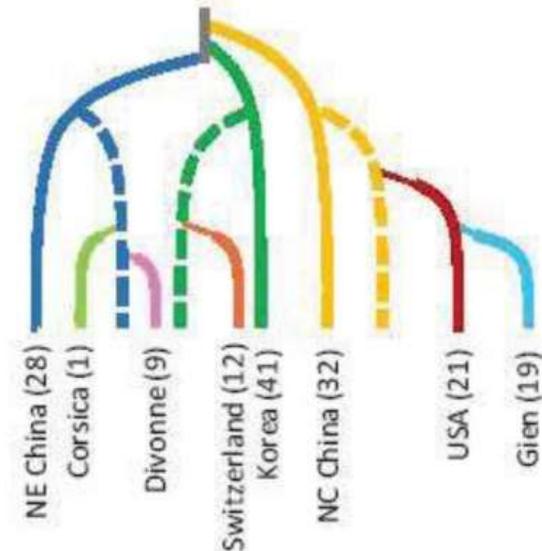
Cohérence avec la montée en puissance des importations de plantes ornementales depuis l'Asie vs. Amérique du Nord

Mais aire native # origine de l'invasion

Les phénomènes « tête de pont » (bridgehead) plus répandus que prévu



Ex: le capricorne asiatique, *Anoplophora glabripennis*



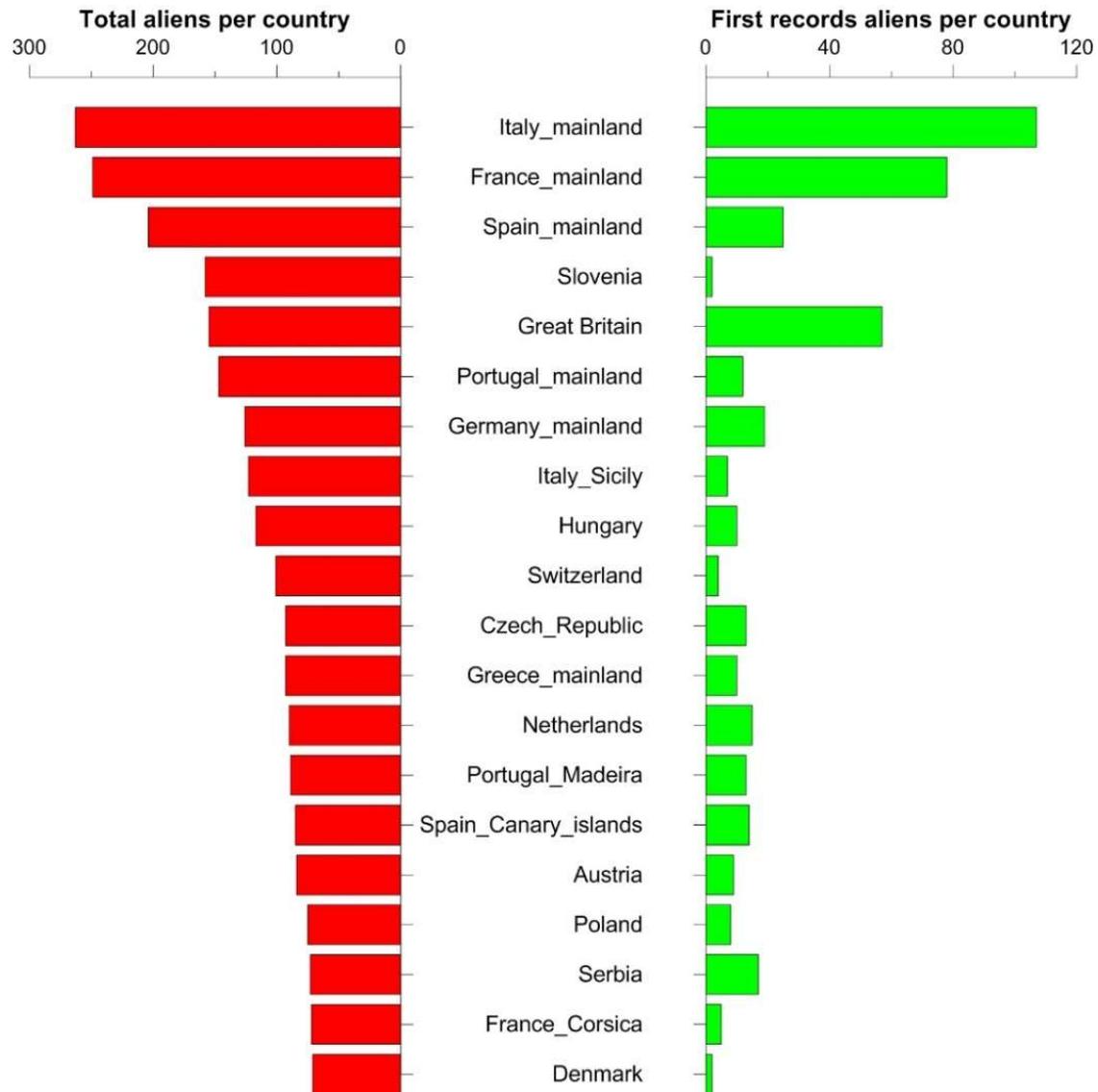
Analyses ABC sur marqueurs ADN microsatellites

Chine → USA → Gien

Idem pour pyrale du buis, punaise des graines, coccinelle asiatique, etc.

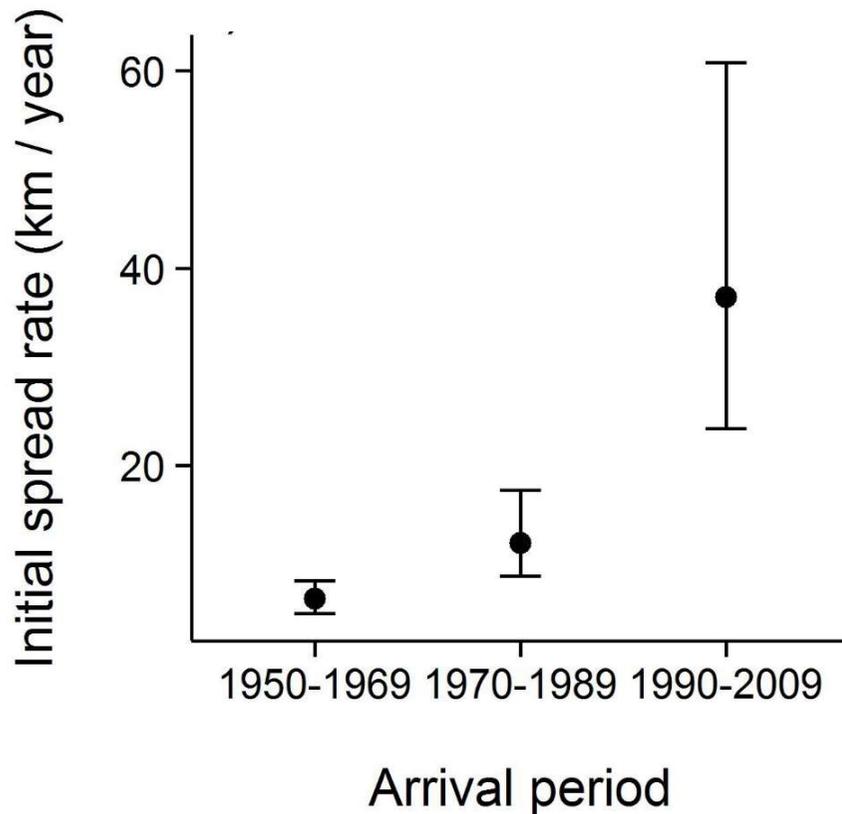
III. Comment se dispersent ces espèces une fois établies ?

Italie et France les premiers pays colonisés en Europe



12ème CIRAA- Montpellier, 26/10/2021

Une propagation significativement accélérée pour les espèces arrivées après 1989



Biol Invasions (2016) 18:907–920
DOI 10.1007/s10530-016-1080-y



INSECT INVASIONS

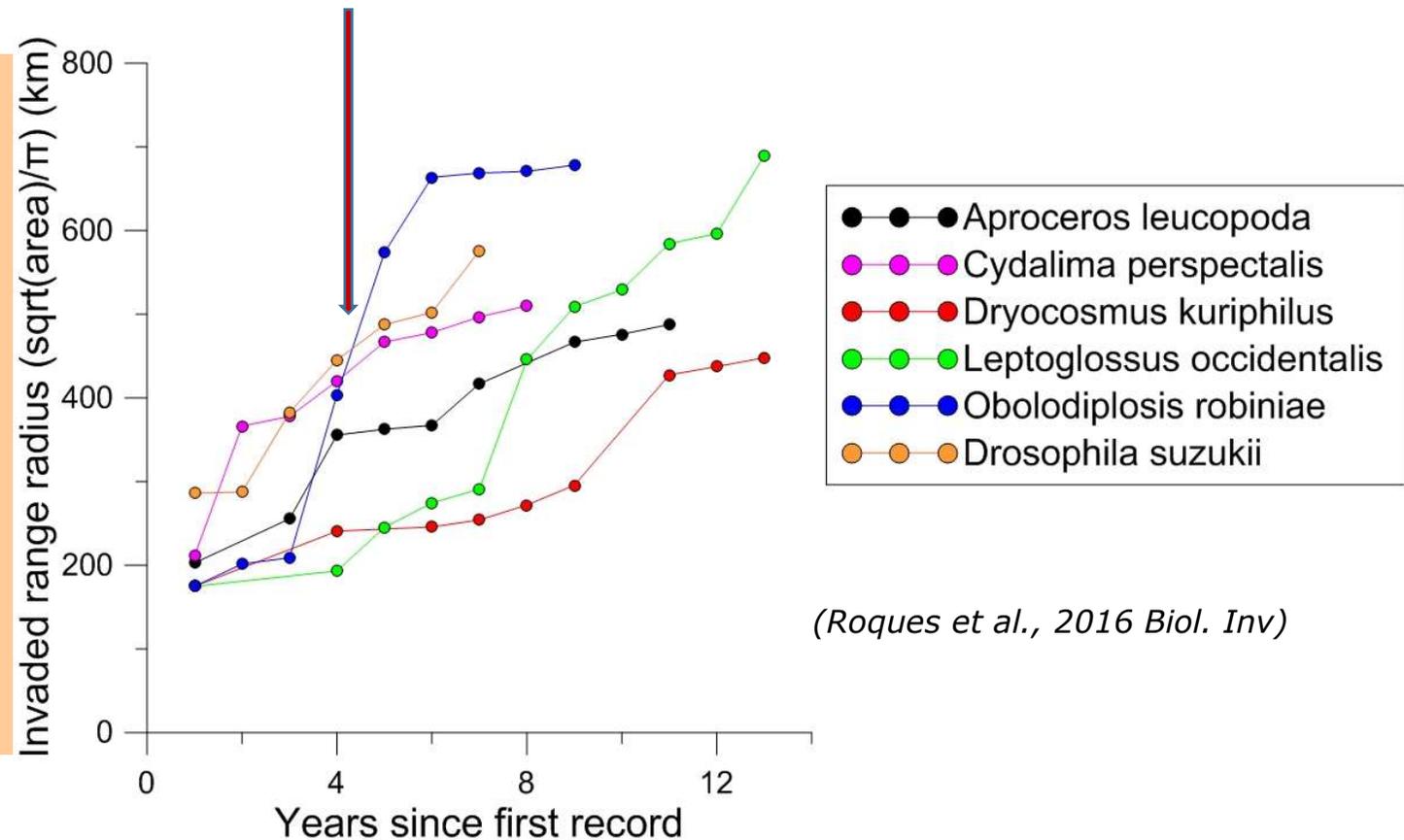
Temporal and interspecific variation in rates of spread for insect species invading Europe during the last 200 years

Alain Roques · Marie-Anne Auger-Rozenberg · Tim M. Blackburn ·
Jeff Garnas · Petr Pyšek · Wolfgang Rabitsch · David M. Richardson ·
Michael J. Wingfield · Andrew M. Liebhold · Richard P. Duncan

Pour un nombre conséquent d'espèces, <15 ans suffisent pour envahir toute l'Europe

(Progression de 450 km entre la 4^{ème} et 6^{ème} année: transport humain)

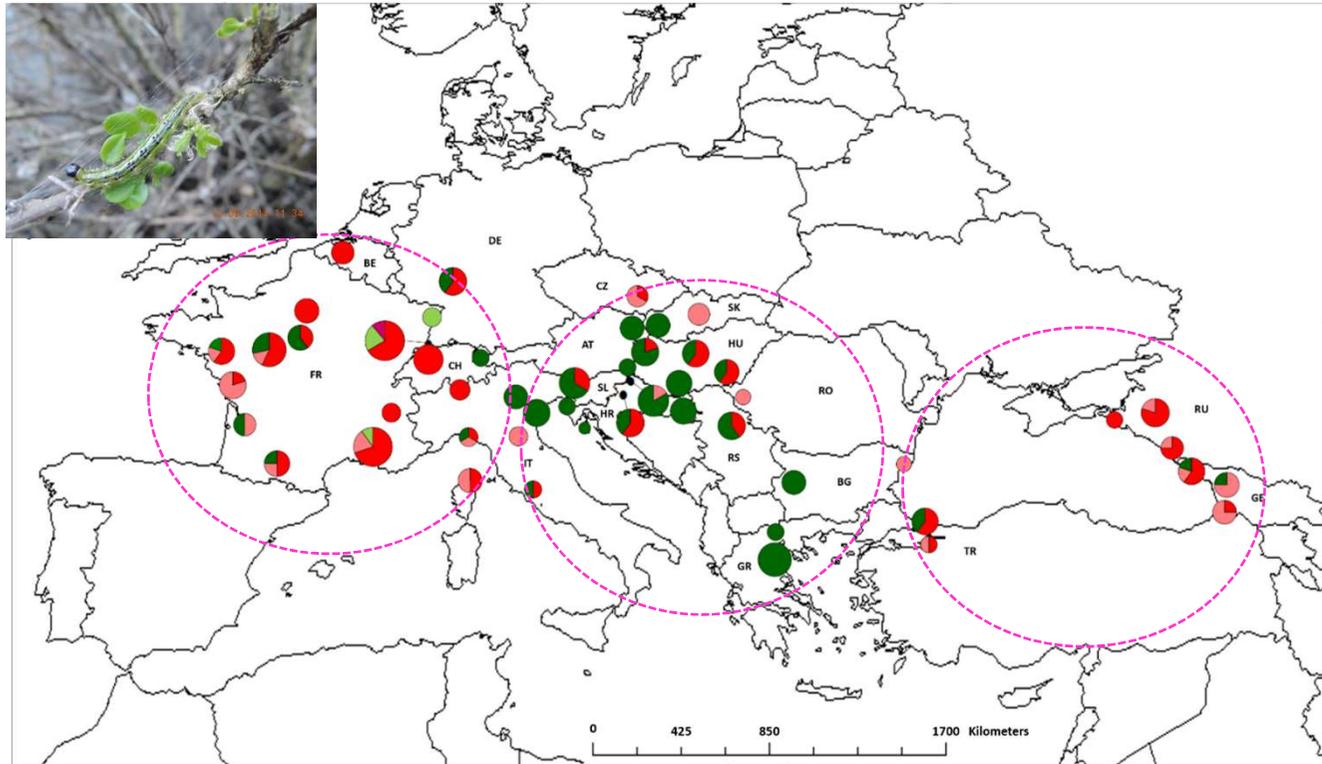
La chute du Mur
et la levée des
contrôles aux
frontières dans
l'UE élargie se
combine à
l'explosion du
commerce des
plantes
ornementales
entre pays



(Roques et al., 2016 Biol. Inv)

L'invasion fulgurante de la pyrale du buis:

Introductions multiples + transport intra-européen
avec le commerce des plantes ornementales



Structure génétique montrant 3 régions géographiques (Ouest Europe, Europe Centrale, Est Europe et Asie Centrale Asia- rôle des JO de Sotchi

ORIGINAL PAPER



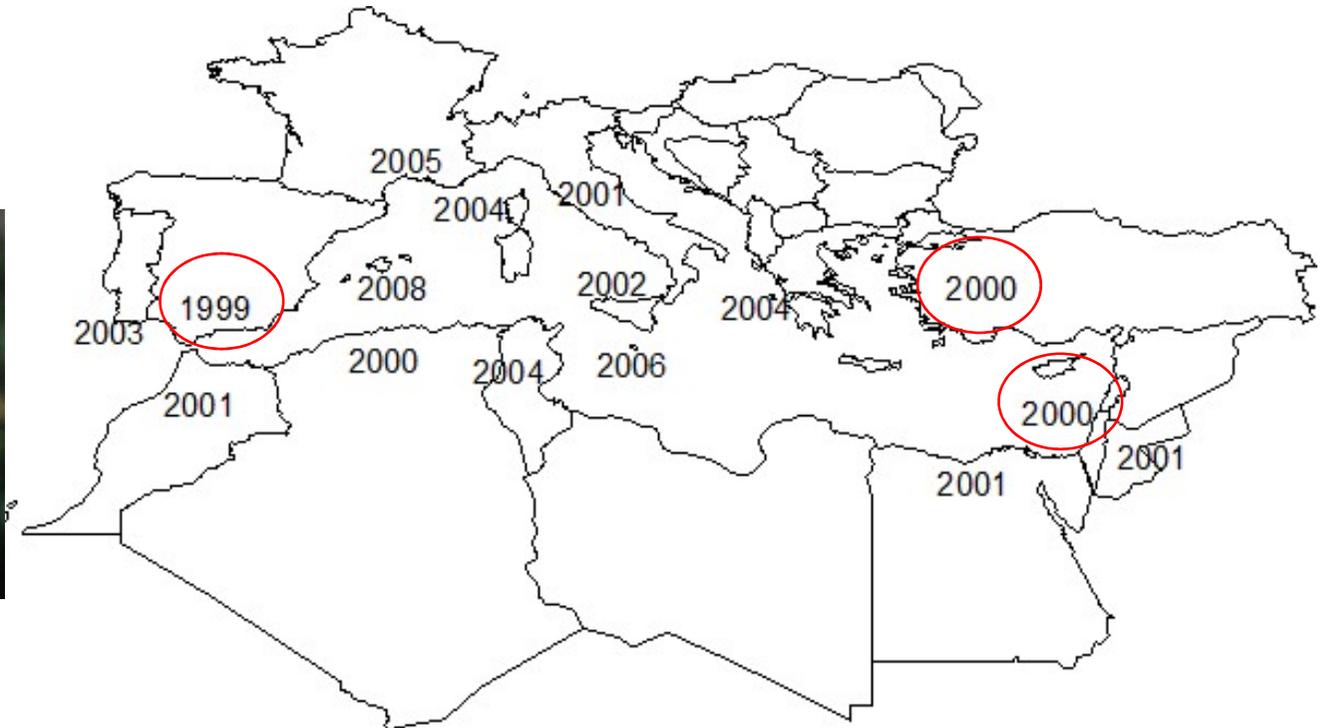
A complex invasion story underlies the fast spread of the invasive box tree moth (*Cydalima perspectalis*) across Europe

Audrey Bras¹ · Dimitrios N. Avtzis² · Marc Kenis³ · Hongmei Li⁴ · Gábor Véték⁵ · Alexis Bernard¹ · Claudine Courtin¹ · Jérôme Rousselet¹ · Alain Roques¹ · Marie-Anne Auger-Rozenberg¹

12ème CIRAA- Montpellier, 26/10/2021

Des processus identiques pour le chalcidien galligène de l'Eucalyptus dans le bassin Méditerranéen

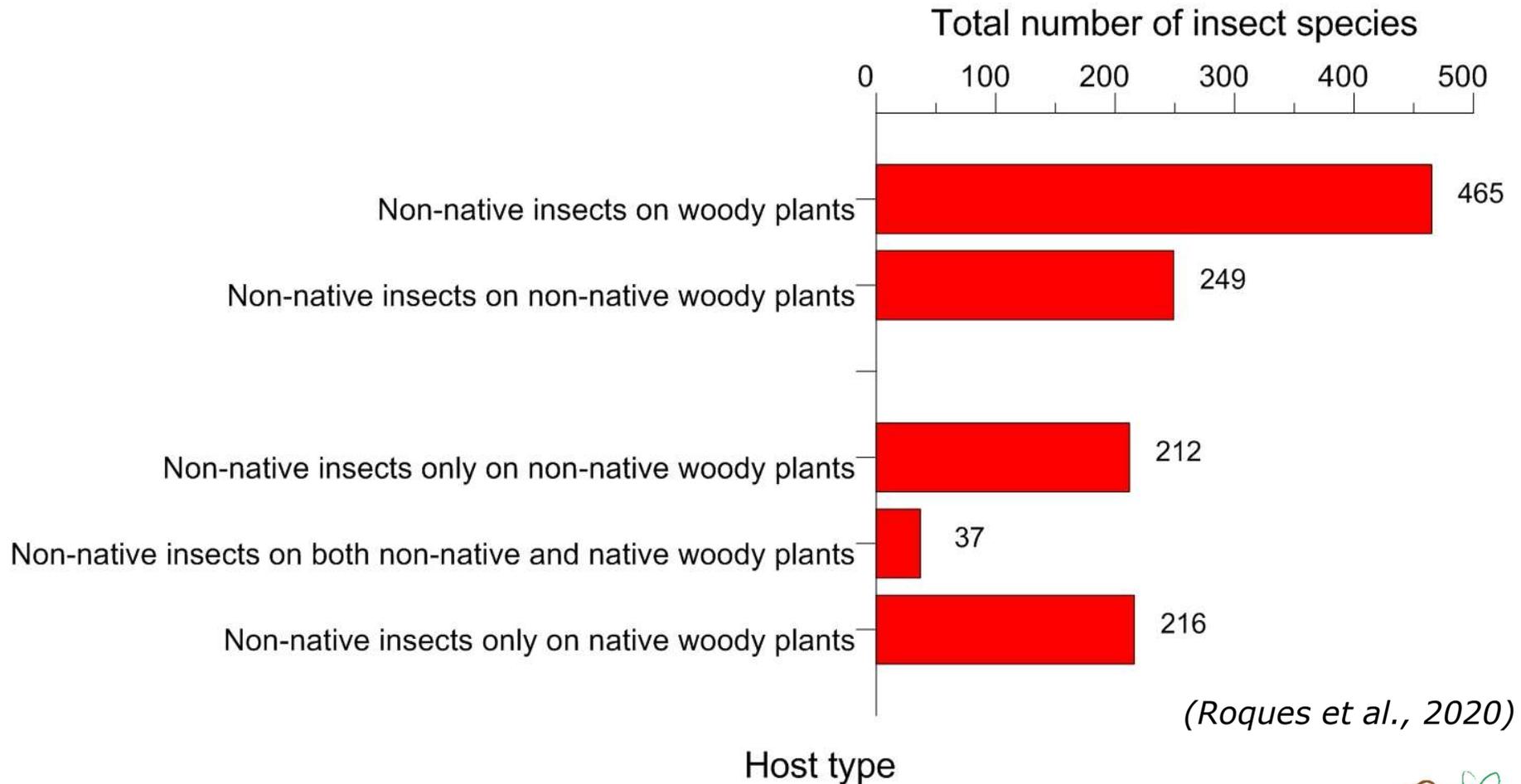
Leptocybe invasa
(Australie)



Les échanges commerciaux directs d'Eucalyptus avec l'Australie plus limités:
Commerce important d'un pays à l'autre du Bassin de feuillage coupé pour orner les bouquets floraux

Un espoir: des changements d'hôte encore limités:

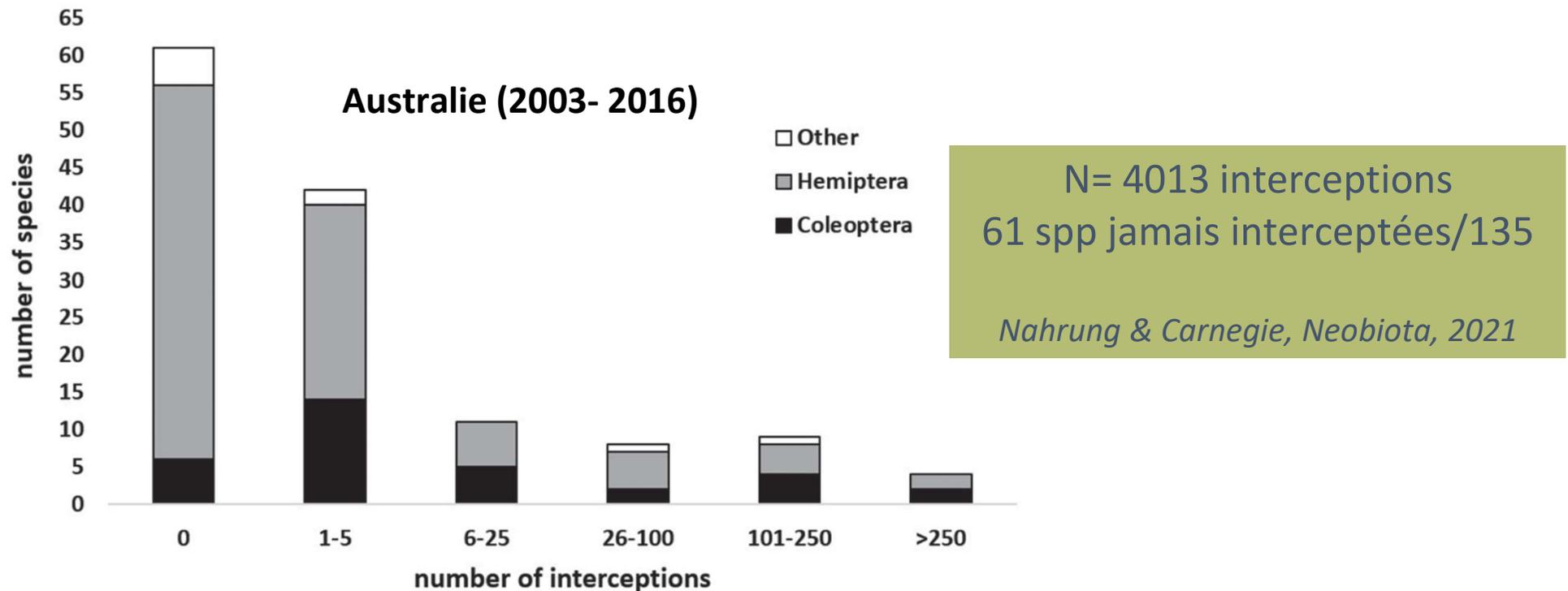
***Près de 50% des exotiques
restent encore fixés sur leur hôte exotique***



V. Quels outils pour identifier les envahisseurs potentiels en amont de leur arrivée ? Quels outils pour détecter de manière précoce les envahisseurs dès leur incursion ?

S'appuyer sur les interceptions pour prédire les arrivées ?

En Europe 7 espèces exotiques d'insectes liés aux ligneux interceptées pour 117 établies entre 1995- 2012 (EPPO, Europhyt)- (*Eschen, Roques & Santini, 2014, Div & Dist.*)



Des problèmes majeurs pour prédire/détecter les nouvelles arrivées

- Seuls les ravageurs sur les listes de quarantaine EPPO sont vraiment ciblés dans les contrôles phytosanitaires aux frontières.
- La plupart des nouvelles espèces ne sont pas des ravageurs dans leurs zones natives (cf Agrile du frêne). Les listes locales de ravageurs ne peuvent pas servir de base unique pour prévoir.
- Une majorité des récentes espèces sont « émergentes », voire inconnues pour la Science, en relation avec l'ouverture de nouvelles routes commerciales. Les listes d'envahisseurs sur d'autres continents ne peuvent servir que de compléments.

Comment cibler ces « inconnus » ?

Utiliser les modèles de distribution spécifiques (Species Distribution Modelling- SDM)

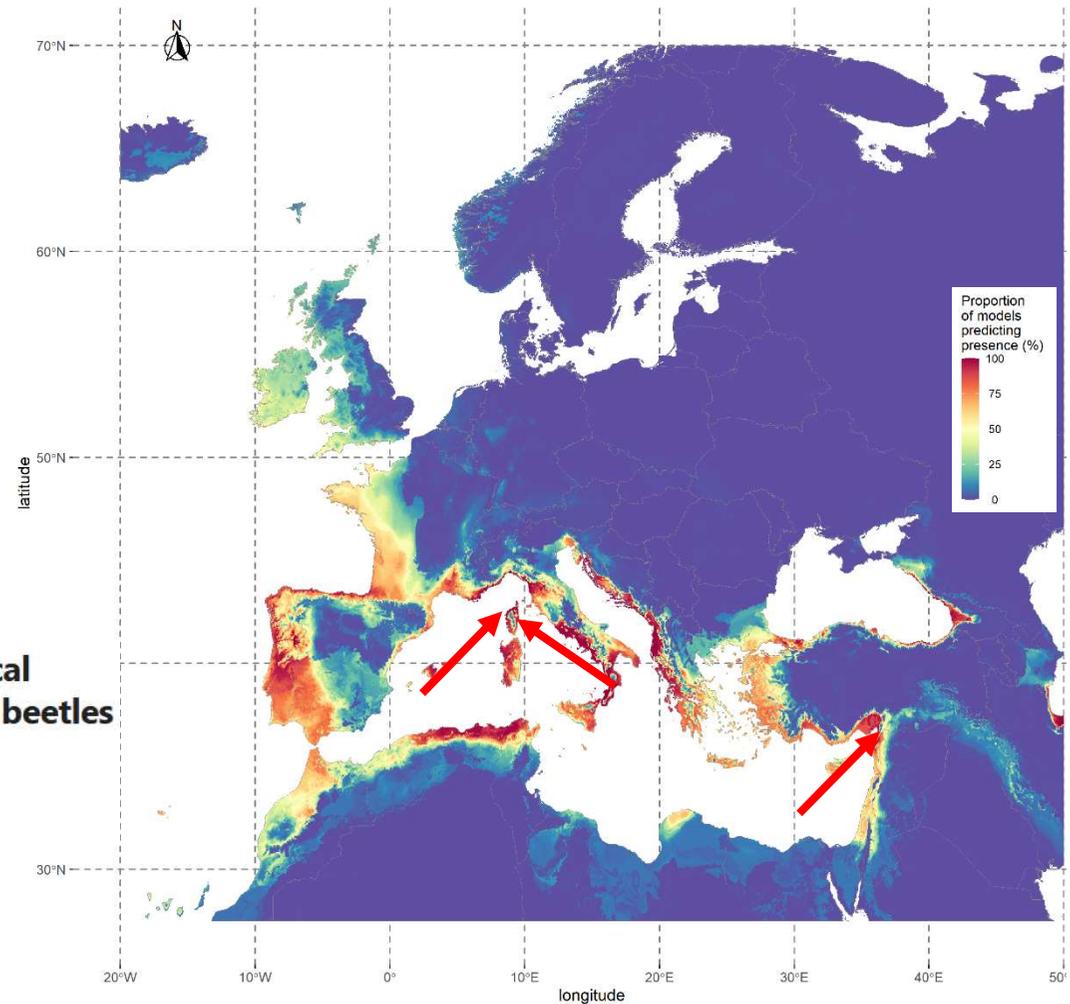


Xylosandrus compactus

Climate change impact on the potential geographical distribution of two invading *Xylosandrus* ambrosia beetles

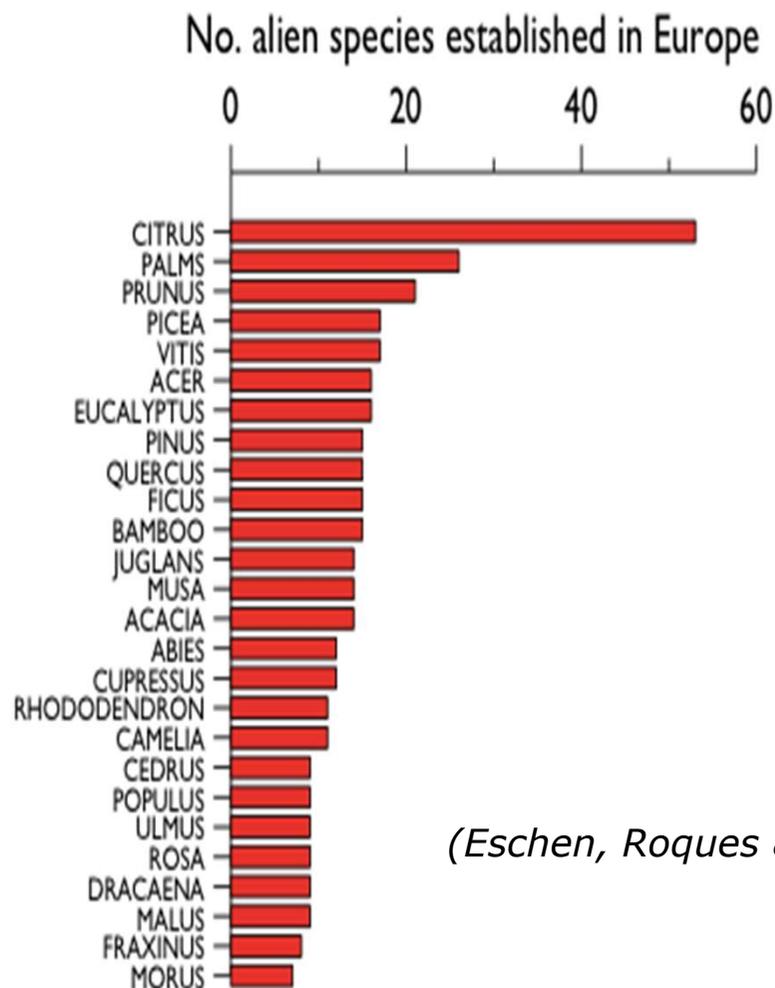
T. Urvois , M. A. Auger-Rozenberg, A. Roques, J. P. Rossi & C. Kerdelhue

Scientific Reports 11, Article number: 1339 (2021) | [Cite this article](#)



Cibler les vecteurs:

Observer la colonisation par les insectes exotiques des ligneux poussant en Europe et ses variations temporelles

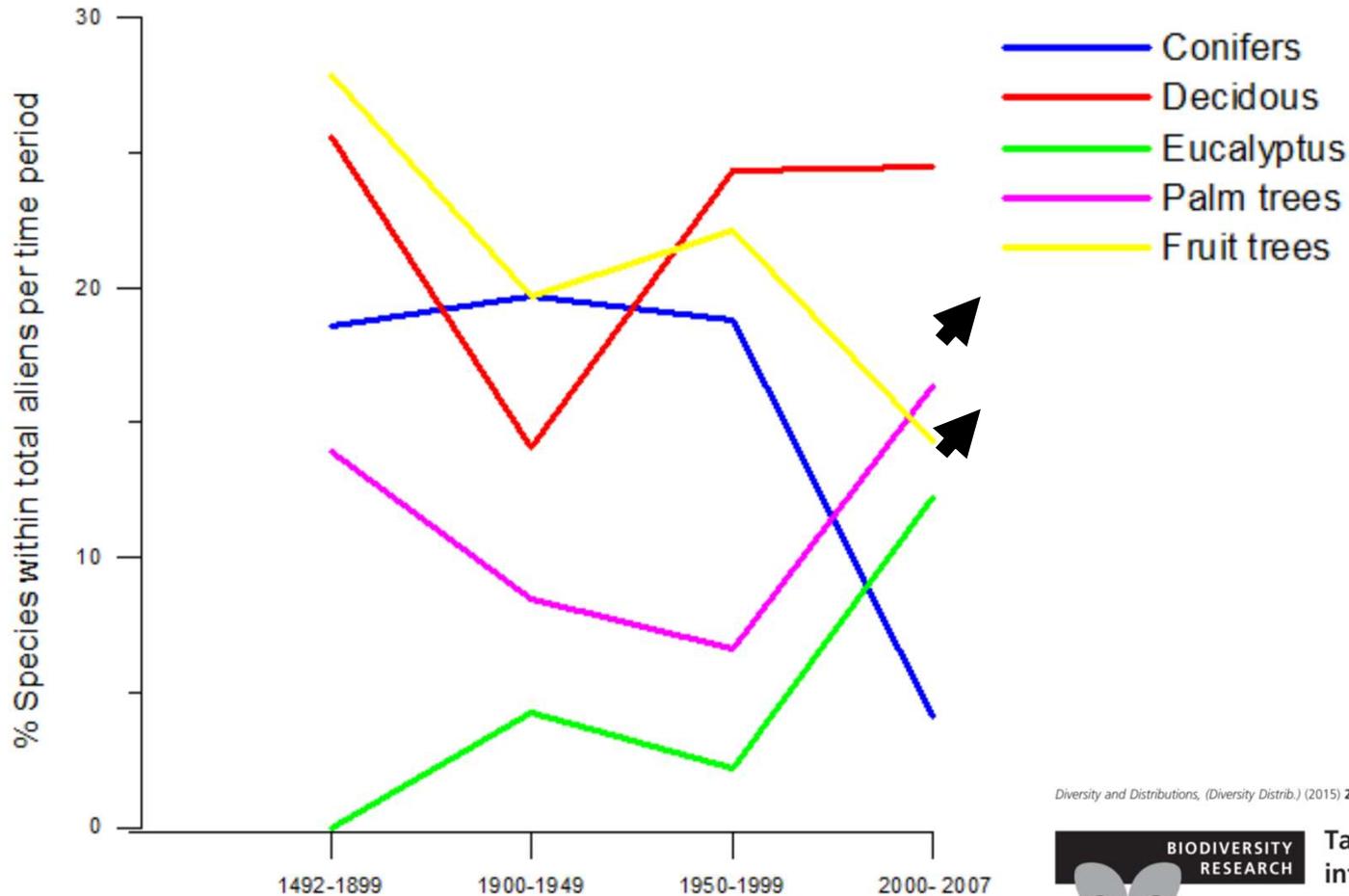


Au plan global, les ligneux exotiques plantés en Europe sont plus colonisés que les ligneux natifs

De nombreuses espèces sont vraisemblablement arrivées avec leur hôte exotique (*mais attention aux passagers clandestins!*)

(Eschen, Roques & Santini, 2014, *Div & Dist.*)

Les changements temporels de colonisation reflètent les processus d'invasion



La vitesse de colonisation des eucalyptus, palmiers et Citrus par des nouveaux insectes exotiques est devenue significativement supérieure à celle des conifères et feuillus tempérés

Diversity and Distributions, (Diversity Distrib.) (2015) 21, 36-45

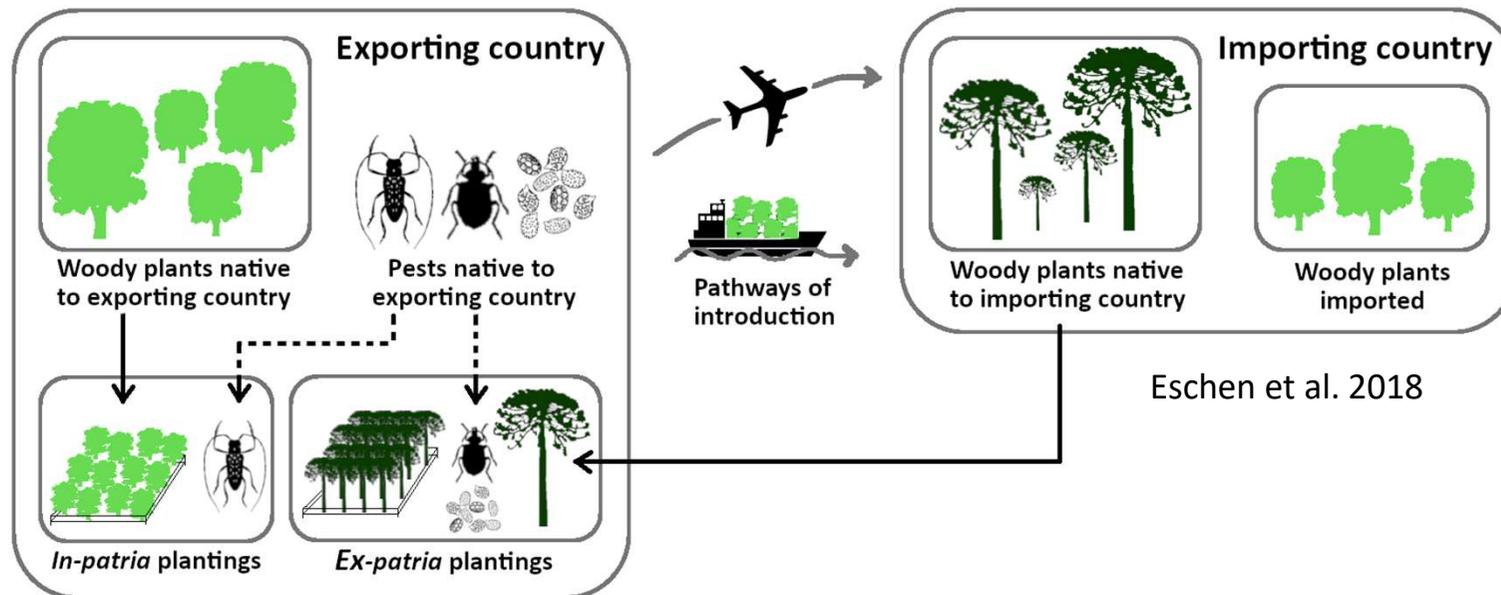


Taxonomic dissimilarity in patterns of interception and establishment of alien arthropods, nematodes and pathogens affecting woody plants in Europe

René Eschen^{1*}, Alain Roques² and Alberto Santini³



Deux types de dispositifs sentinelles, définies par l'origine des plantes et les objectifs recherchés



Plantations *Ex-patria* (= Plantations sentinelles; ex: arbres européens en Chine):
Capacité de colonisation et impact potentiel des insectes exotiques s'ils sont introduits

Plantations *In-patria* (= Pépinières sentinelles; ex: arbres chinois plantés en Chine avant exportation en Europe sans traitement phytosanitaire): **Probabilité d'introduction des espèces d'insectes dans le pays d'importation**

Premiers tests en Chine

Plantations sentinelles de 7 espèces d'arbres européens:

- 3 années suffisent pour apprécier le recrutement des défoliateurs et des espèces s'attaquant aux racines; Mais 8-10 ans pour les xylophages
- une liste de 39 menaces potentielles dont 5 très dangereuses et auparavant inconnues

Pépinières sentinelles des 5 ligneux les plus exportés de Chine vers l'Europe

- 5 années suffisent pour détecter des xylophages
- Détection de 90 nouvelles associations insecte x hôte / littérature chinoise !
- **La Pyrale du buis aurait pu être détectée avant son arrivée en Europe**



Pteroma nr. pendula (testé sous conditions de quarantaine) à l'INRA: capable de défeuiller tous les feuillus!

PLOS ONE

RESEARCH ARTICLE

Planting Sentinel European Trees in Eastern Asia as a Novel Method to Identify Potential Insect Pest Invaders

Alain Roques^{1*}, Jian-ting Fan², Béatrice Courtial¹, Yan-zhuo Zhang³, Annie Yart¹, Marie-Anne Auger-Rozenberg¹, Olivier Denux¹, Marc Kenis⁴, Richard Baker⁵, Jiang-hua Sun²

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

Sentinel nurseries to assess the phytosanitary risks from insect pests on importations of live plants

Received: 14 November 2017
Accepted: 3 July 2018

Marc Kenis¹, Hongmei Li², Jian-ting Fan², Béatrice Courtial¹, Marie-Anne Auger-Rozenberg¹, Annie Yart¹, René Eschen⁵ & Alain Roques^{*}

12ème CIRAA- Montpellier, 26/10/2021

INRAE
URZF
UNITÉ DE RECHERCHE
EN AGROLOGIE + GÉNÉTIQUE

Des méthodes désormais standardisées



Field Guide for the
Identification of Damage
on Woody Sentinel Plants

Edited by Alain Roques, Michelle Cleary,
Iryna Masiakh and René Eschen



Guide issu du projet COST project “Global Warning”, associant entomologistes and pathologists. Gratuit !

<http://www.cabi.org/cabebooks/ebook/20173265430>

Dispositif récemment étendu à l’Afrique du Sud et aux USA (projet H2020 HOMED)

Dispositif réciproque avec des arbres et arbustes chinois en France, Italie et Suisse

De nouvelles procédures de détection à l'arrivée dans les ports d'entrée

Est-il possible de définir des mélanges pour une attraction générique, permettant la détection d'espèces « inconnues » ?

Les Cérambycides, de bons candidats

- Phéromones sexuelles et d'agrégation bien conservées au niveau du genre, de la tribu ou de la sous-famille, cela *au niveau mondial*.
- Attractivité générique espérée de la **combinaison de 8 de ces phéromones**
- Démontrer, via des tests en forêts, que ce mélange n'engendre pas de répulsion
- Ajout d' α -pinene et d'Ethanol permet d'espérer la capture additionnelle de scolytes exotiques



Journal of Pest Science (2019) 92:281–297
<https://doi.org/10.1007/s10340-018-0997-6>

ORIGINAL PAPER

Multi-component blends for trapping native and exotic longhorn beetles at potential points-of-entry and in forests

Jian-ting Fan^{1,2} · Olivier Denux¹ · Claudine Courtin¹ · Alexis Bernard¹ · Marion Javal¹ · Jocelyn G. Millar^{3,4} · Lawrence M. Hanks⁵ · Alain Roques¹

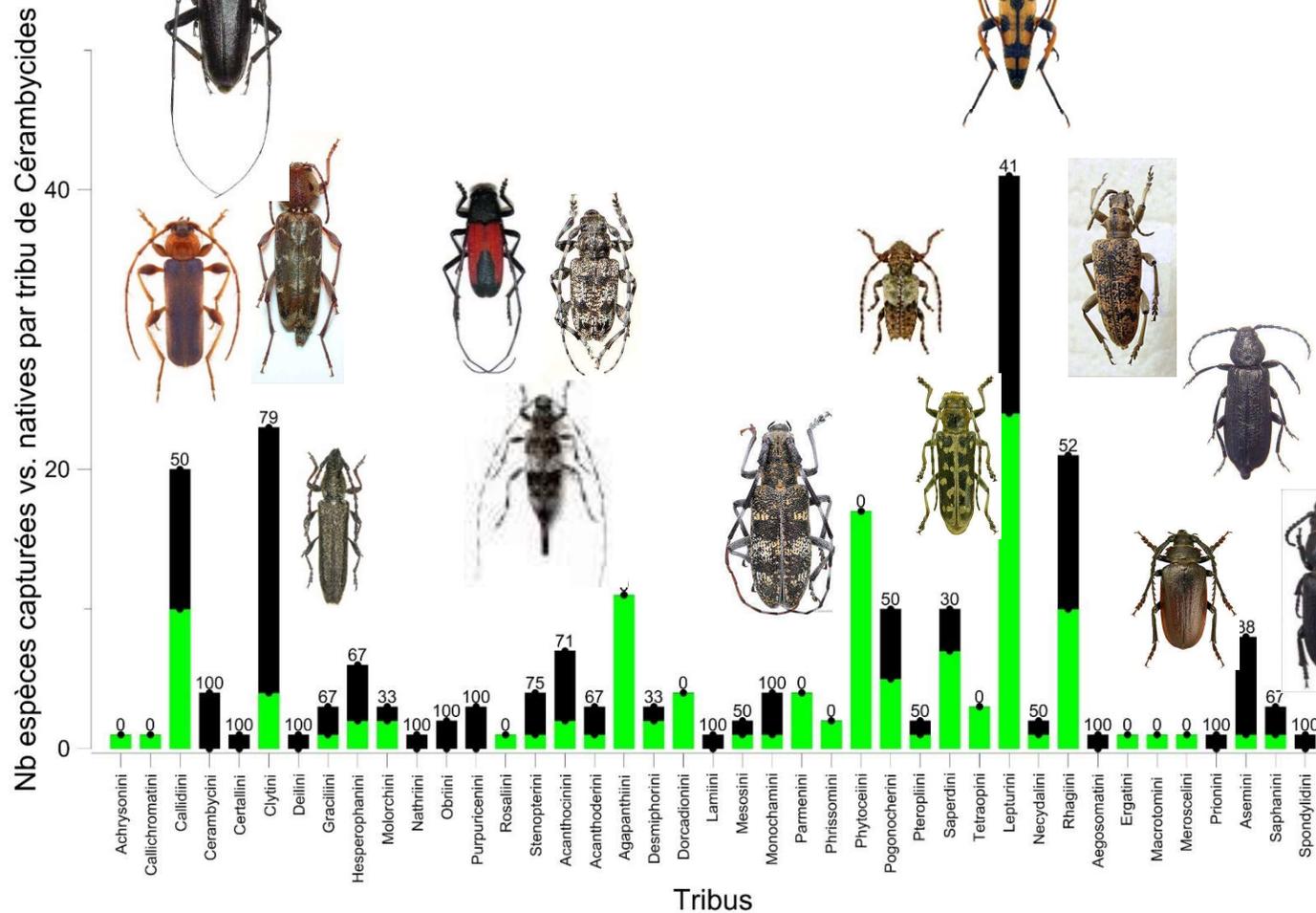
Une très forte attractivité générique du mélange à 8 composés vérifiée en forêt

126 spp. piégées
51.9% de la faune native

25 / 42 tribus bien représentées:

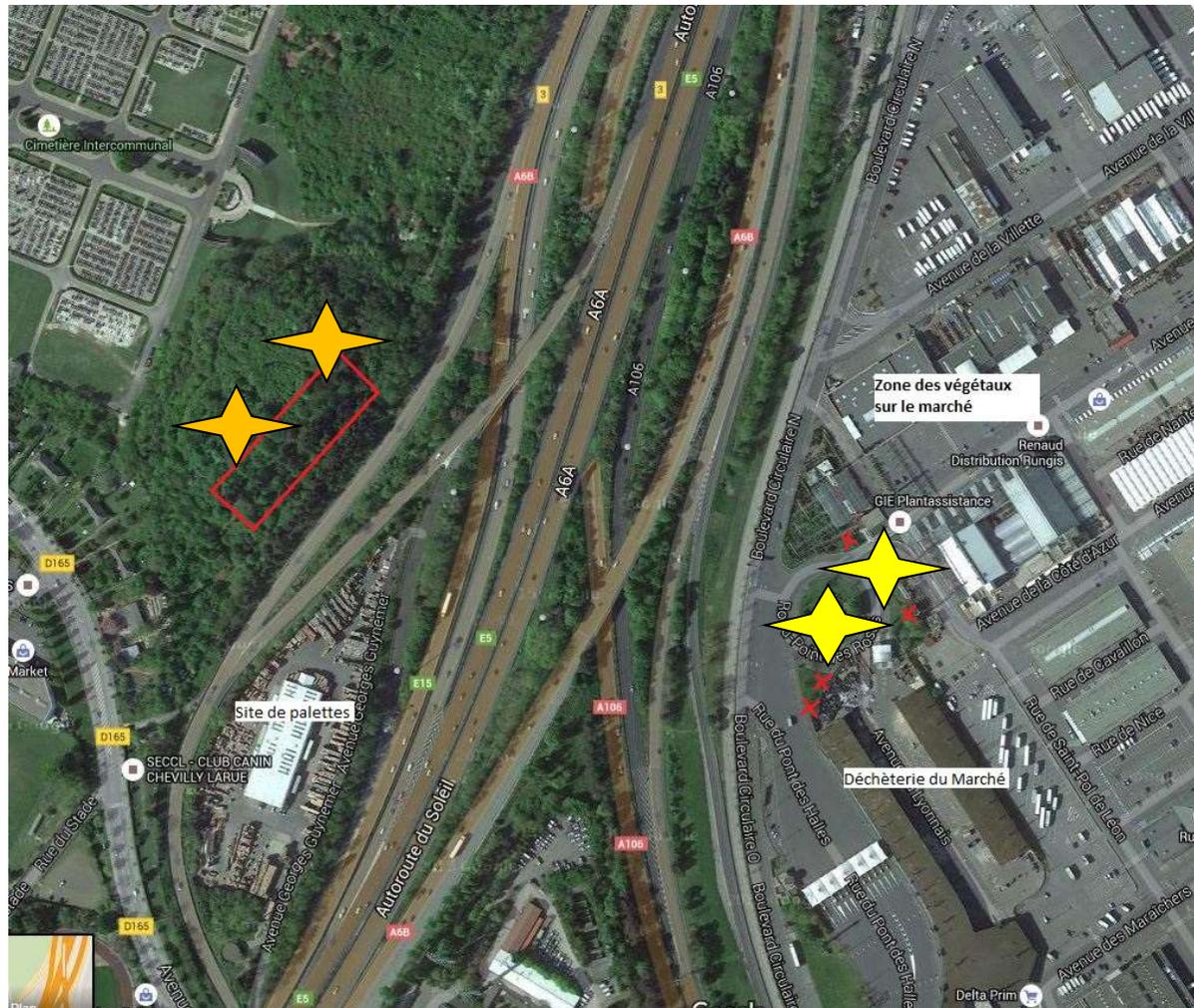
- 10 tribus à 100%
- 15 tribus > 50%
- 7 espèces exotiques

Pas de répulsion constatée



2021- Le programme DGAL SORE- 12 ports testés

Exemple du MIN Rungis



- 2 jeu de pièges à l'intérieur
- 2 jeu de pièges à l'extérieur (rayon 1 km) pour apprécier l'expansion possible de l'exotique
- Partout où possible sur les décharges ou stocks de palettes

De premiers résultats

- 8 espèces exotiques de cérambycides, dont 2 nouvelles observations pour l'Europe
- 3 platypodides et scolytes exotiques
- Le vecteur du nématode du pin capturé à Roissy CDG et sur le port de Fos (>250 spécimens !)

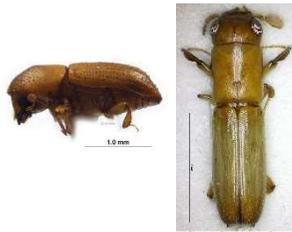


Uraecha angusta
Camphrier- Chine



Xylotrechus altaicus
Larix Sibérie

Xyleborus affinis
Euplatypus parallelus
Euplatypus hintzi



Cordylomera spinicornis
Gabon



Xylotrechus stebbingi
Feuillus- Chine



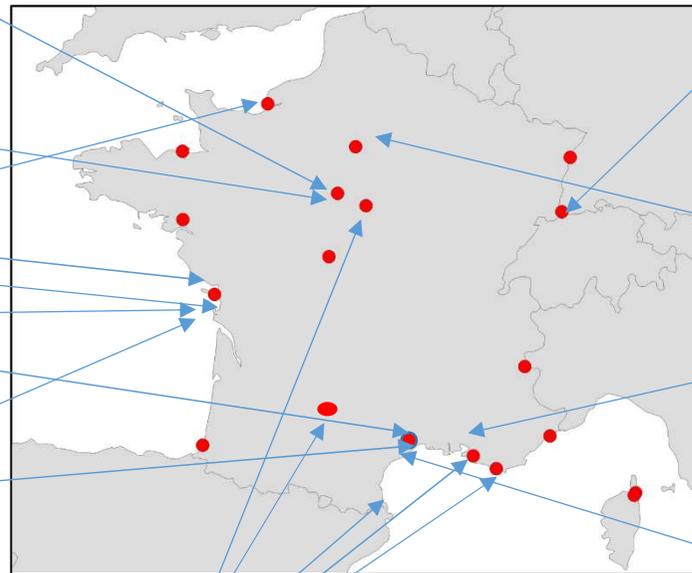
Xylotrechus chinensis
Mûrier- Chine



Trichoferus campestris
Chine



Monochamus galloprovincialis



12ème CIRAA- Montpellier, 26/10/2021

Un programme mondial de piégeage pour la détection des exotiques à l'arrivée

- ❑ ***Si une espèce est capturée en nombre avec le même mélange à 8 composants sur un autre continent, la probabilité de capture à son arrivée en Europe est importante***
 - Piégeages de 2019 à 2021 dans 12 Provinces de Chine, aux USA, Canada, Australie, et 12 pays européens
 - **335 espèces déjà piégées au niveau mondial**
- ❑ Développement d'une base mondiale de données moléculaires des espèces piégées avec le mélange
- ❑ Test en développement d'un mélange à 10 composés
- ❑ **Mais pas encore sûr que l'on puisse définir une méthode similaire pour d'autres groupes (buprestes, pucerons, etc)**



Messages à retenir

- ❑ Les invasions d'insectes s'accélèrent avec la mondialisation, sans saturation
- ❑ La majorité des nouveaux invasifs sont liés à des ligneux ornementaux
- ❑ L'arrivée de nouvelles espèces envahissantes, jamais signalées comme telles auparavant, est en train de se multiplier avec l'ouverture de nouvelles voies commerciales
- ❑ La relation entre changement climatique et facilitation de l'invasion est encore (relativement) une boîte noire mais l'augmentation des établissements sur arbres d'origine subtropicale tend à l'indiquer.
- ❑ Pour tenter d'identifier en amont ces espèces largement inconnues, le développement d'un réseau de plantations sentinelles est suggéré à travers le monde
- ❑ La mise en place de contrôles automatisés dans les points potentiels d'entrée s'appuyant sur des pièges appâtés par des mélanges de phéromones à vocation générique est une piste pour détecter précocement l'arrivée des espèces exotiques de certains groupes. *Ne pas oublier pas que la probabilité que les insectes arrivent au stade adulte est faible!*

Remerciements

La réalisation des travaux présentés a été rendue possible par le financement issu des projets européens et français



DGAL SORE

Merci pour votre attention !

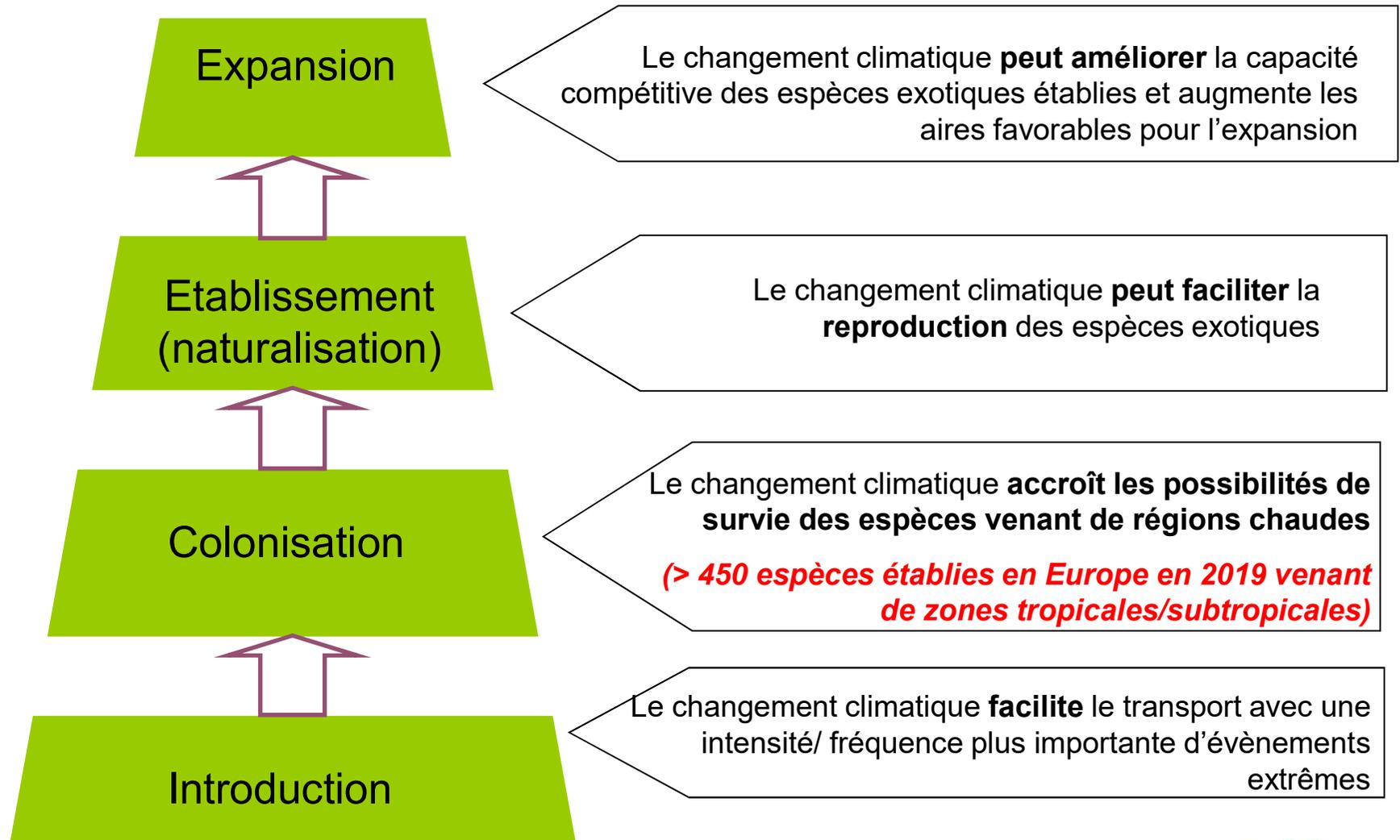


IV. Quelles relations avec le réchauffement climatique ?

12ème CIRAA- Montpellier, 26/10/2021



Le changement climatique interfère à toutes les phases de l'invasion



(Walter, Roques et al., TREE, 2009)

12ème CIRAA- Montpellier, 26/10/2021

L'établissement et l'expansion des insectes exotiques favorisés par la levée des seuils thermiques ?

L'exemple des Palmiers:

- 31 espèces nouvelles d'insectes arrivées en Europe depuis 1993
- Dont le charançon *Rhynchophorus ferrugineus* et le papillon *Paysandisia archon*, arrivés respectivement en Espagne continentale et aux Canaries depuis la fin des années 1990
- Pas de dispersion de ces 2 espèces pendant une dizaine d'années
- Entre 2004 et 2009, elles colonisent toute l'Europe du Sud: « time-lag » ou levée des seuils thermiques.
- Lien avec le commerce: arrivée en Grèce durant les JO d'Athènes 2004 avec les importations massives de palmiers espagnols pour l'ornement.



Expansion visiblement plus rapide pour les exotiques récemment arrivés associés aux eucalyptus

- **Eucalyptus:** petits défoliateurs et galligènes (*Ophelimus maskelli*, *Leptocybe invasa*, *Glycaspis brimblecombei*, *Blastopsylla occidentalis*, *Thaumastocoris peregrinus*) ont colonisé la plupart du Bassin Méditerranéen en moins de 10 ans



vs.

Une colonisation plus lente par les *Phoracanta* spp. (arrivée 1969 et 1992) et *Gonipterus* spp. (arrivée 1975 et 1991)

