

Analyse de risque et gestion des invasions : modèles spécifiques ou génériques ?

Christelle Robinet

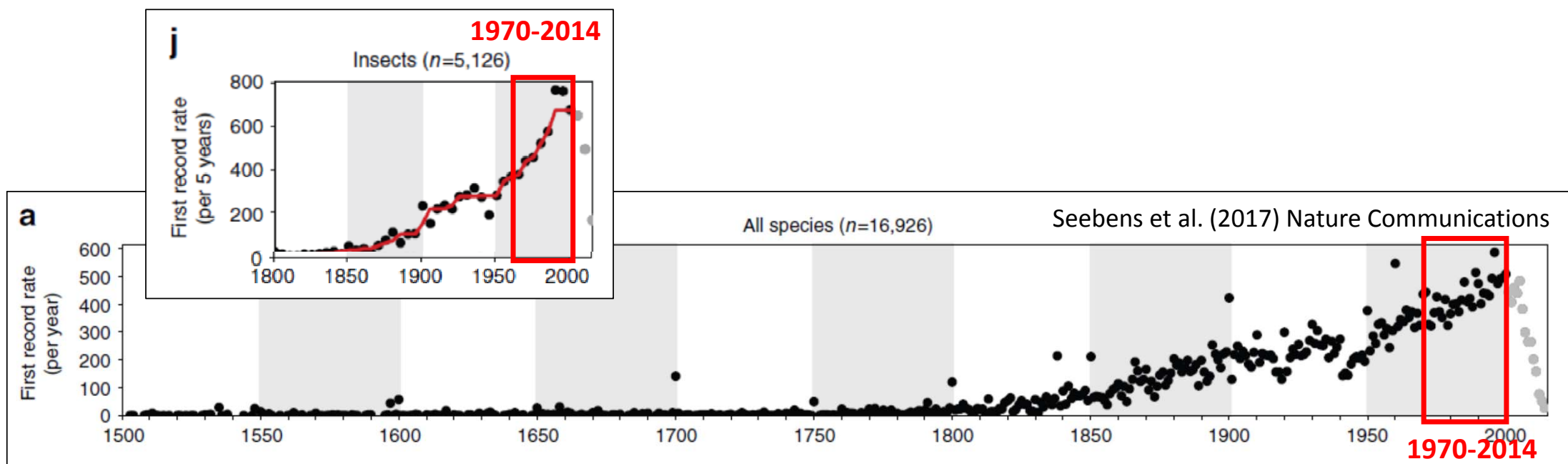
Unité de Recherche de Zoologie Forestière (URZF)
INRA Val de Loire, Orléans



Réunion du réseau ModStatSAP, Paris, 19/03/2018

1) Introduction


- Le nombre d'invasions biologiques (plantes, oiseaux, reptiles, insectes,...) ne cesse d'augmenter partout dans le monde, en particulier avec le transport accidentel d'individus lors des échanges commerciaux
- 37% des invasions observées depuis 200 ans ont eu lieu entre 1970 et 2014
- Ce taux d'invasion n'atteint pas de limite actuellement
- Les efforts pour limiter ces invasions ne semblent donc pas efficaces



1) Introduction

Analyse du risque phytosanitaire (ARP)

- Dans le passé, beaucoup d'analyses étaient faites de manière qualitative ou « à dire d'expert ».
- Il y a souvent peu de données disponibles car avant d'être reconnue comme nuisible, l'espèce est généralement peu étudiée.
- Ces dernières années, il y a eu un effort pour mieux **quantifier ce risque et l'incertitude associée**.

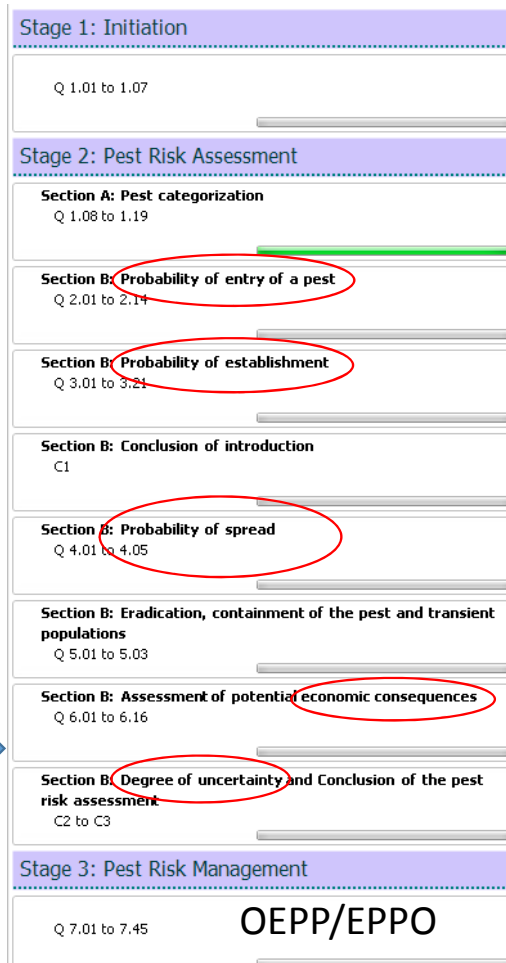



PRATIQUÉ: ENHANCEMENTS OF PEST RISK ANALYSIS TECHNIQUES

The expansion in the global trade of plant material over the last century has led to a steady increase in the rate of entry and establishment of new, economically or environmentally damaging plant pests, diseases and invasive alien species. The threat is likely to further increase as a result of climate change and EU expansion. Recent examples of serious alien pests and diseases that have been introduced include the pathogen responsible for Sudden Oak Death (*Phytophthora ramorum*) and the maize pest, western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*).

2008 - 2011

Pest risk analysis (PRA) is central to tackling these invaders since it not only provides a procedure to assess the risks of entry, establishment and impacts but can also be used to identify the most appropriate options for the prevention of entry and management of outbreaks.



Stage 1: Initiation
Q 1.01 to 1.07

Stage 2: Pest Risk Assessment

Section A: Pest categorization
Q 1.08 to 1.19

Section B: **Probability of entry of a pest**
Q 2.01 to 2.14

Section B: **Probability of establishment**
Q 3.01 to 3.24

Section B: Conclusion of introduction
C1

Section B: **Probability of spread**
Q 4.01 to 4.05

Section B: **Eradication, containment of the pest and transient populations**
Q 5.01 to 5.03

Section B: **Assessment of potential economic consequences**
Q 6.01 to 6.16

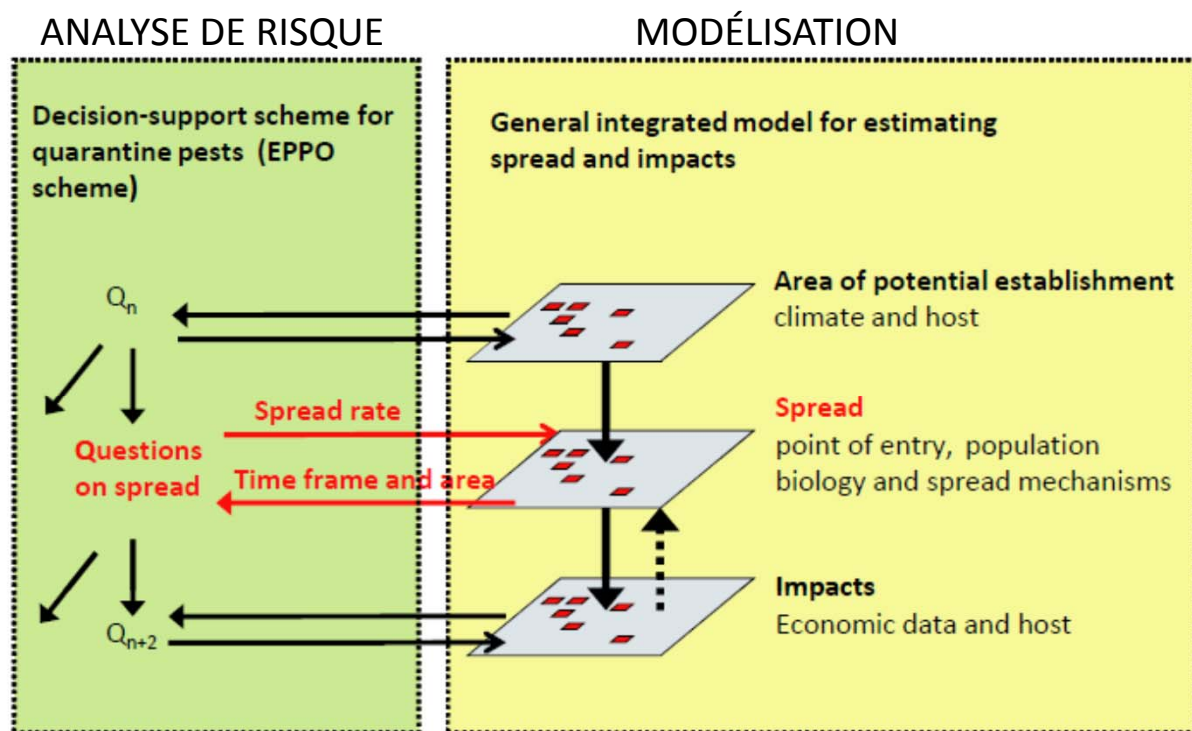
Section B: **Degree of uncertainty and Conclusion of the pest risk assessment**
C2 to C3

Stage 3: Pest Risk Management
Q 7.01 to 7.45

OEPP/EPPO

1) Introduction

Analyse du risque phytosanitaire (ARP)



Contraintes sur la modélisation :

- ce travail doit souvent s'effectuer dans un temps relativement court
- les utilisateurs potentiels sont des experts en analyse de risque qui ne sont pas forcément des modélisateurs
- les modèles doivent être suffisamment flexibles et pertinents pour être appliqués à différentes espèces.

Kehlenbeck et al. 2012 EPPO Bulletin

1) Introduction

Arrivée d'une nouvelle espèce potentiellement invasive



Analyse de risque phytosanitaire (ARP)

Experts en analyse de risque

Stage 1: Initiation	
Q 1.01 to 1.07	<input type="text"/>
Stage 2: Pest Risk Assessment	
Section A: Pest categorization Q 1.08 to 1.19	
<input type="text"/>	
Section B: Probability of entry of a pest Q 2.01 to 2.14	
<input type="text"/>	
Section B: Probability of establishment Q 3.01 to 3.21	
<input type="text"/>	
Section B: Conclusion of introduction C1	
<input type="text"/>	
Section B: Probability of spread Q 4.01 to 4.05	
<input type="text"/>	
Section B: Eradication, containment of the pest and transient populations Q 5.01 to 5.03	
<input type="text"/>	
Section B: Assessment of potential economic consequences Q 6.01 to 6.16	
<input type="text"/>	
Section B: Degree of uncertainty and Conclusion of the pest risk assessment C2 to C3	
<input type="text"/>	
Stage 3: Pest Risk Management	
Q 7.01 to 7.45	<input type="text"/>

Modélisation des risques

Compromis à faire entre:

- **modèles génériques ?**
relativement peu de paramètres; applicables assez rapidement
 - Modélisateurs (développer ces modèles)
 - Experts en analyse de risque (utilisation des modèles)
- **modèles spécifiques ?**
nécessitant plus de ressources pour un développement sur-mesure
 - Modélisateurs

Réglementation

Décideurs

risques & incertitudes

prise de décision ?



Contrôle ?

2) Modèles génériques

2) Modèles génériques

Risque d'introduction

« Pathway models »

Modèles probabilistes, matrices de transition, ...

Risque d'établissement

« Niche models »

CLIMEX, MAXENT, NAPPFAST,...

Risque d'expansion

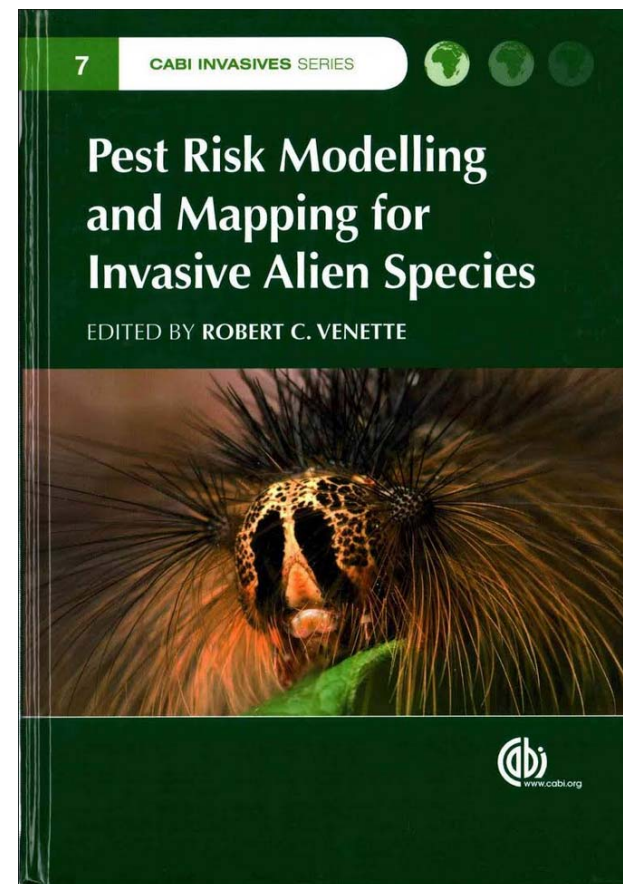
« Spread models »

Generic spread module, network models, dispersal kernels, cellular automata, ...

Impact potentiel

« Economic models »

Partial budget analysis (direct economic impact), partial equilibrium analysis (total impact), ...



2) Modèles génériques

Risque d'introduction

« Pathway models »

Risque d'établissement

« Niche models »

Risque d'expansion

« Spread models »

Impact potentiel

« Economic models »

2) Modèles génériques

Exemple: probabilité d'introduire un invasif avec l'importation de bois (projet PPMPIRATES)

Risque d'introduction

« Pathway models »

Chaîne commerciale du bois

Étapes	Parcours de l'espèce invasive tout au long de la chaîne
Pays d'origine	Niveau d'infestation (ICO, pb) Elle survit aux traitements ($STCO$) Elle survit à la 1 ^{ère} transformation ($SF1CO$) modèle bois scié / modèle bois rond Bois scié / Bois rond
Entrée en Europe (port)	Elle n'est pas détectée à l'entrée en Europe ($1-q$) Bois scié / Bois rond
Transport en Europe	Elle est transportée en Europe Bois scié / Bois rond
Transformation en Europe	Elle arrive dans les scieries Elle survit à la transformation en résidus (SR) Elle survit aux traitements (ST) modèle bois rond / modèle bois scié Elle survit à la transformation en bois scié ($SF1$) / Elle survit à la transformation en produit final ($SF2$) Produits finaux
Consommation du produit final	Elle arrive jusqu'au consommateur en Europe

Chaîne de transformation du bois



$$E_{P,j,r} = V_{P,j,r} n_P W_{e,P} W_{d,j,r} h_{j,r}$$

Exposition
(nb individus passant sur un hôte en Europe)

Volume de marchandise infestée

Densité de ravageurs dans cette marchandise

Probabilités de s'échapper, disperser, et de trouver un hôte

2) Modèles génériques

Exemple: probabilité d'introduire un invasif avec l'importation de bois (projet PPMPIRATES)

Risque d'introduction

« Pathway models »

Pathogène responsable du flétrissement du chêne

- Différents scénarios de gestion ont été testés
- **Réglementation actuelle relativement efficace** pour diminuer le risque d'introduction du pathogène

Robinet et al. 2016 Forestry

Nématode du pin: ver microscopique des pins

- Confirme le risque élevé d'introduction du nématode du pin dans la région où il a été détecté en 1999 au Portugal
- Pointe des régions « **réservoirs** » où le risque d'introduction est élevé sous un climat où les symptômes ne s'expriment pas

<https://zenodo.org/record/164857>

Douma et al. 2016 Ecol Appl

EXTERNAL SCIENTIFIC REPORT



APPROVED: 6.05.2015

PUBLISHED: 11.09.2015

Development of probabilistic models for quantitative pathway analysis of plant pests introduction for the EU territory

J.C. Douma¹, C. Robinet², L. Hemerik³, M.M. Mourits⁴, A. Roques² and W. van der Werf¹

Les experts EFSA du « Animal and Plant Health panel » initiés au modèle au cours d'un workshop organisé à Bruxelles en 2015

2) Modèles génériques

Risque d'introduction

« Pathway models »

Risque d'établissement

« Niche models »

Risque d'expansion

« Spread models »

Impact potentiel

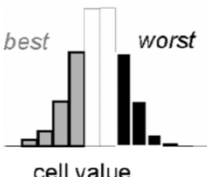
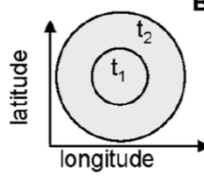
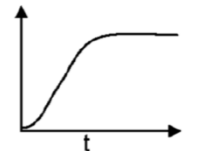
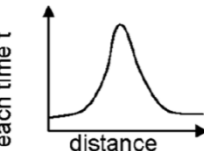
« Economic models »

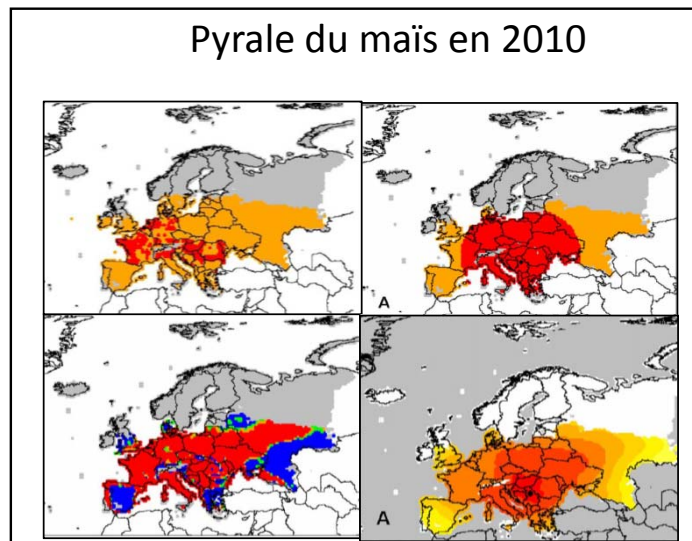
2) Modèles génériques

Exemple: module générique d'expansion (projet PRATIQUE)

Risque d'expansion

« Spread models »

Output variable \ Model dimension	Time	Time + space
Presence / absence	<p>invaded cells at time t</p>  <p>cell value</p>	
Population density	<p>Density in each cell</p>  <p>t</p>	<p>Probability to disperse at each time t</p>  <p>distance</p>



OPEN ACCESS Freely available online

2012

PLOS ONE

A Suite of Models to Support the Quantitative Assessment of Spread in Pest Risk Analysis

Christelle Robinet¹, Hella Kehlenbeck², Darren J. Kriticos³, Richard H. A. Baker⁴, Andrea Battisti⁵, Sarah Brunel⁶, Maxime Dupin¹, Dominic Eyre⁴, Massimo Faccoli⁵, Zhenya Ilieva⁷, Marc Kenis⁸, Jon Knight^{9,10}, Philippe Reynaud¹¹, Annie Yart¹, Wopke van der Werf^{12*}

<https://easy.dans.knaw.nl/ui/datasets/id/easy-dataset:51346/tab/2>

Bulletin OEPP/EPPO Bulletin (2017) 0 (0), 1–8

ISSN 0250-8052. DOI: 10.1111/epb.12385

Potential spread of kiwifruit bacterial canker (*Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*) in Europe¹

A. Wilstemann¹, G. Schrader¹, H. Kehlenbeck² and C. Robinet³

- 1-4 par. pest spécifiques + CLIMEX, distrib. hôte, valeur économique des hôtes
- testé sur 7 espèces: 3 insectes, 2 nématodes, 1 pathogène, 1 plante + 1 bactérie

Les experts OEPP initiés au modèle au cours d'un workshop organisé à Hammamet en 2010

3) Modèles spécifiques

3) Modèles spécifiques : modèles développés pour une espèce donnée

Exemple: risque d'expansion du nématode du pin et efficacité des coupes rases



- le nématode du pin est un organisme invasif originaire d'Amérique du Nord, qui est transporté d'un arbre à l'autre par un insecte vecteur natif;
- depuis, il se propage en faisant mourir les pins qu'il attaque en quelques semaines

3) Modèles spécifiques : modèles développés pour une espèce donnée

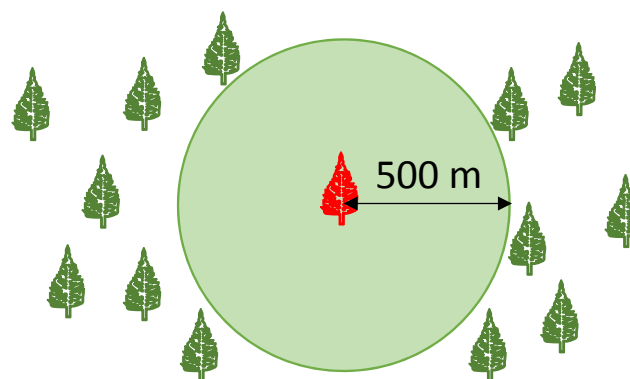
Exemple: risque d'expansion du nématode du pin et efficacité des coupes rases



- le nématode du pin est un organisme invasif originaire d'Amérique du Nord, qui est transporté d'un arbre à l'autre par un insecte vecteur natif;
- depuis, il se propage en faisant mourir les pins qu'il attaque en quelques semaines

- pourtant la réglementation européenne impose un certain nombre de mesures pour limiter sa propagation

=> Un modèle spécifique a été développé pour évaluer l'efficacité des coupes rases



anses
agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Évaluation des mesures
d'urgence destinées
à prévenir la propagation
du nématode du pin
dans l'Union européenne

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Septembre 2015 Édition scientifique

3) Modèles spécifiques : modèles développés pour une espèce donnée

Exemple: risque d'expansion du nématode du pin et efficacité des coupes rases

1) Calibration d'un modèle de dispersion de l'insecte vecteur et transmission du PWN:

Dispersion de l'insecte vecteur:

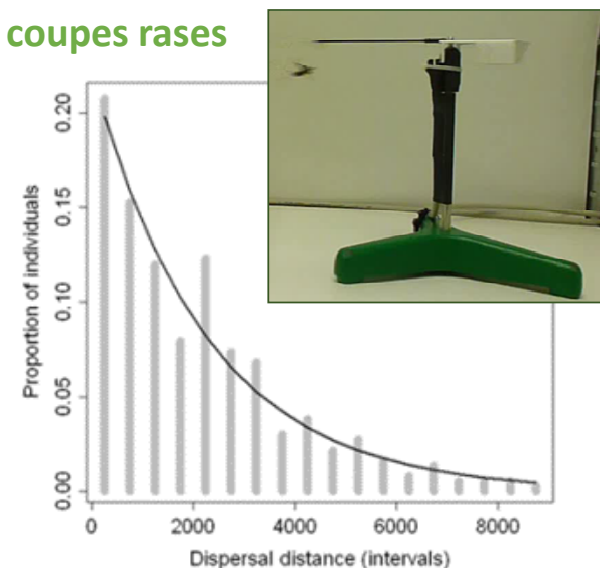
- données de manège de vol
=> forme du noyau de dispersion
- données de capture-marquage-lâcher-recapture
=> pour affiner l'estimation des paramètres (distance moyenne de dispersion / jour)

Simulation de la transmission du nématode:

Lors de ses arrêts (alimentation sur des pins)

Principaux paramètres et processus :

- insectes immatures acquièrent progressivement leur capacité de vol; ils deviennent matures à 20 jours
- transmission du nématode pendant 70 jours après l'émergence de l'insecte infesté
- mort après 12 jours de jeûne (e.g., à l'intérieur d'une coupe rase)
- ...
- stratégie de la coupe rase ...



Robinet et al. (in prep.)

3) Modèles spécifiques : modèles développés pour une espèce donnée

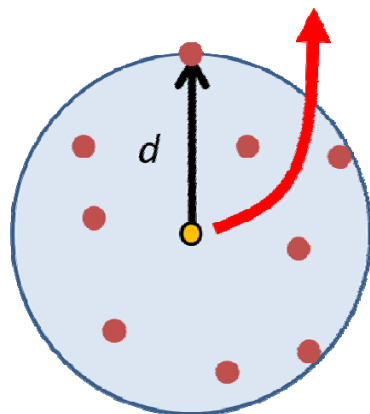
2) Stratégie de la coupe rase:

Scénario 1: coupe rase préventive (avant dispersion de l'insecte)

- 1.1: la coupe rase n'affecte pas la dispersion
- 1.2: l'insecte cherche à sortir de la coupe rase pour trouver des pins

Eviter l'émigration
des immatures
année N+1

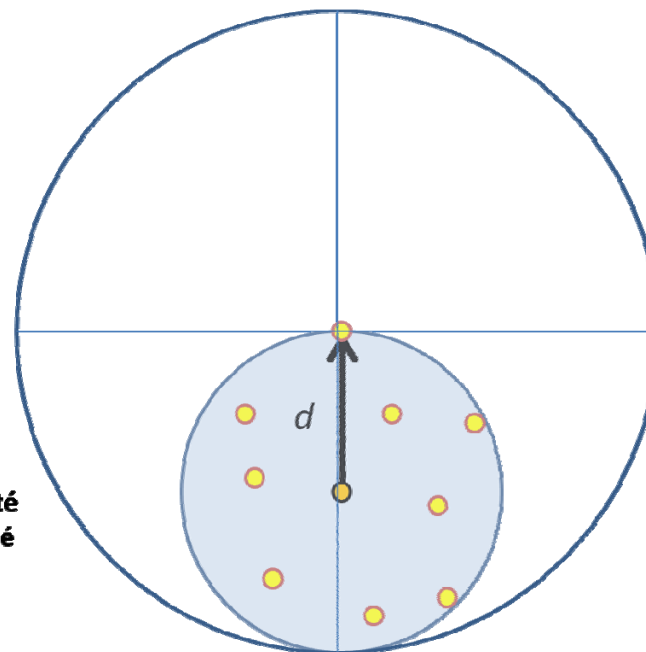
Pin infesté
et détecté
année N



Coupe rase « préventive » en hiver N – N+1

Scénario 2: coupe rase curative (éliminer tous les arbres non symptomatiques potentiellement infestés)

Pin infesté
et détecté
année N



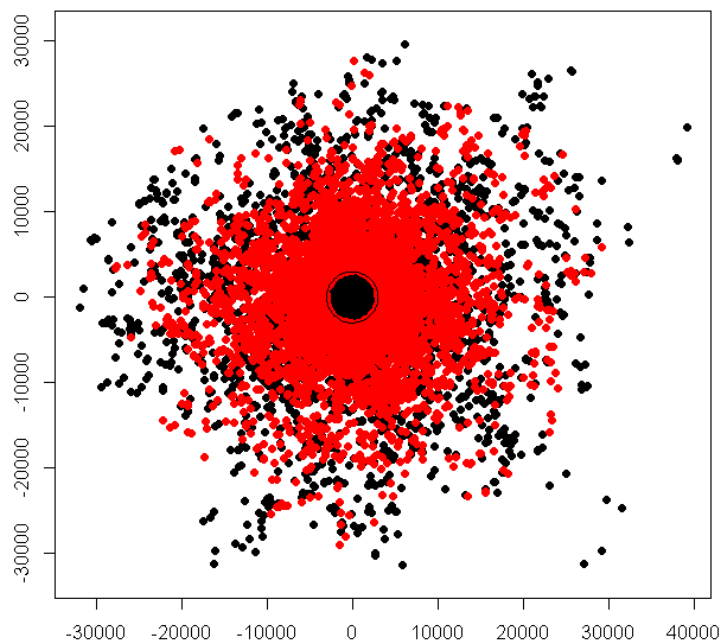
Coupe rase « curative » dès la détection de l'arbre 0

3) Modèles spécifiques : cas du nématode du pin

Efficacité de la coupe rase sur un rayon de 500 m

Scénario 1 – pas d'évitement

11 % d'inoculations évitées



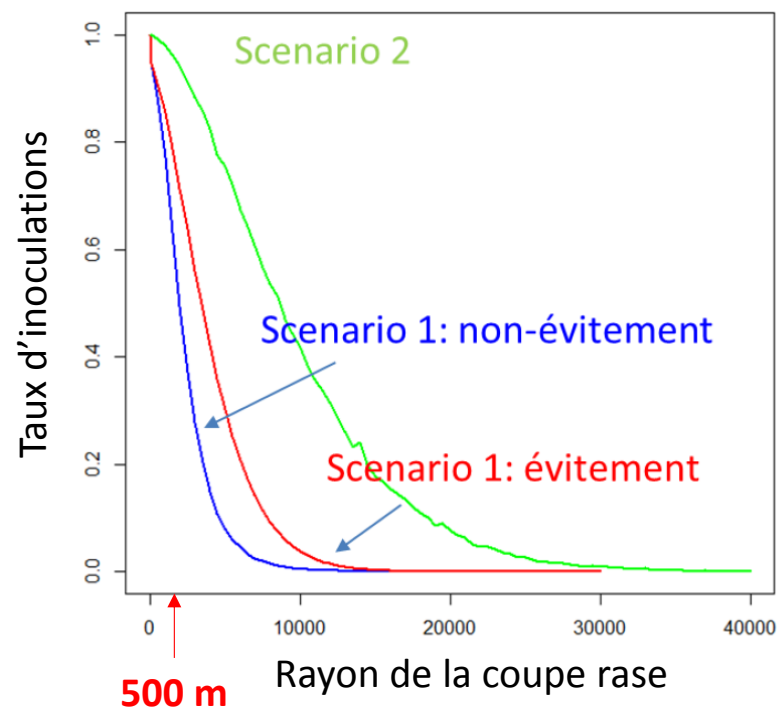
Exemple CCZ 3000m

Scénario 1 – évitement

9 % d'inoculations évitées

Scénario 2

<1 % d'inoculations évitées



Rapport ANSES 2015

3) Modèles spécifiques : cas du nématode du pin

Rayon recommandé pour la coupe rase

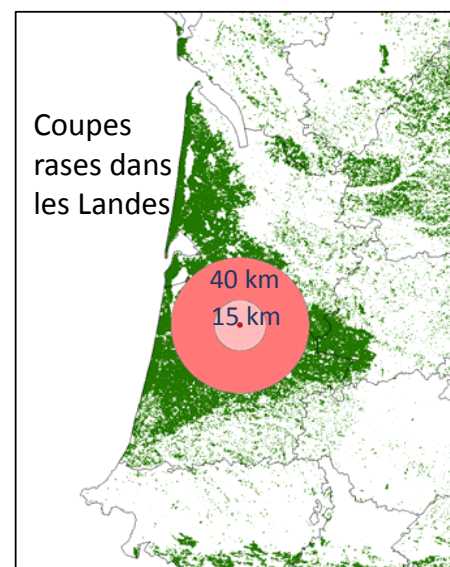
Scenario 1a Preventive – no avoidance	Scenario 1b Preventive - avoidance	Scenario 2 Curative
R = 14.5 km (\pm 0.5)	R = 17.5 km (\pm 1.0) <i>Rapport ANSES 2015</i>	R = 38.0 km (\pm 1.5)

Coupe rase d'un rayon de 15 km
= 7% des Landes,

Coupe rase d'un rayon de 40 km
= 50% des Landes

=> *peu réaliste*

Autre méthode de lutte à préconiser...



L'application d'un modèle générique aurait été difficile pour prendre en compte finement l'ensemble des processus en jeu.

4) Modèles spécifiques vs génériques ?

4) Modèles spécifiques vs génériques ?

<i>Caractéristiques non exhaustives d'après mon expérience</i>	MODELE SPECIFIQUE	MODELE GENERIQUE
AVANTAGES ?	<p>Modèle « sur-mesure »: peut prendre en compte très précisément les caractéristiques de l'espèce et les processus en jeu => plus précis et plus fiable? <i>Validité biologique</i></p>	<p>Les décideurs ont plus confiance dans les modèles génériques (déjà utilisés) Une fois développés: généralement plus rapides et plus faciles à utiliser car moins de paramètres. <i>Rapidité & confiance des décideurs</i></p>
INCONVENIENTS ?	<p>Généralement nombreux paramètres et fonctions calibrées sur mesure => long à développer + temps pour récolter les données. Question de la validité du modèle vis-à-vis des décideurs (au-delà de la validation par une publication) <i>Temps de dvpt & pbm de confiance des décideurs</i></p>	<p>Ne peut pas prendre en compte la spécificité de chaque invasion Ne décrit généralement pas le mécanisme finement: quel est le niveau de confiance à véritablement accorder à ces modèles? <i>Pbm de validité biologique</i></p>
<p><i>Ne répond pas forcément aux attentes des décideurs: nécessité d'une meilleure interaction entre modélisateurs et décideurs</i></p>		
<p>= étude approfondie ?</p>		<p>= 1^{ière} étude exploratoire ?</p>

5) Modèles statistiques semi-mécanistes

5) Modèles statistiques semi-mécanistes

Modèle statistique semi-mécaniste: une approche intermédiaire ?

1) Description d'un mécanisme: la dispersion

Noyau de dispersion = loi exponentielle négative

$$T_{ij} = \frac{e^{-d_{ij}f(Z)}}{\sum_j e^{-d_{ij}f(Z)}}$$

ECOLOGY LETTERS

Ecology Letters, (2017)

doi: 10.1111/ele.12741

LETTER

Predicting the spread of all invasive forest pests in the United States

Abstract

We tested whether a general spread model could capture macroecological patterns across all damaging invasive forest pests in the United States. We showed that a common constant dispersal kernel model, simulated from the discovery date, explained 67.94% of the variation in range size across all pests, and had 68.00% locational accuracy between predicted and observed locational distributions. Further, by making dispersal a function of forest area and human population density, variation explained increased to 75.60%, with 74.30% accuracy. These results indicated that a single general dispersal kernel model was sufficient to predict the majority of variation in extent and locational distribution across pest species and that proxies of propagule pressure and habitat invasibility – well-studied predictors of establishment – should also be applied to the dispersal stage. This model provides a key element to forecast novel invaders and to extend pathway-level risk analyses to include spread.

Keywords

Dispersal kernel, habitat invasibility, macroecology, propagule pressure, spatially explicit.

Ecology Letters (2017)

Emma J. Hudgins,^{1*} Andrew M. Liebhold² and Brian Leung¹

¹Biology Department, McGill University, Montreal, QC, Canada

²Northern Research Station, USDA Forest Service, Morgantown, WV, USA

*Correspondence: E-mail: emma.hudgins@mail.mcgill.ca

5) Modèles statistiques semi-mécanistes

Modèle statistique semi-mécaniste: une approche intermédiaire ?

1) Description d'un mécanisme: la dispersion

Noyau de dispersion = loi exponentielle négative

$$T_{i,j} = \frac{e^{-d_{i,j}f(Z)}}{\sum_j e^{-d_{i,j}f(Z)}}$$

2) Analyse statistique

$$f(Z) = 2\alpha \frac{e^{Z_S+Z_I+Z_O}}{1 + e^{Z_S+Z_I+Z_O}}$$

$$Z_V = \sum_{p=1}^k \beta_p X_p$$

$V = S, I \text{ ou } O$

Méthode de sélection ascendante : ajout au fur et à mesure des variables explicatives

Métrique pour évaluer la performance du modèle = minimum energy test (MET)
=> prend en compte la distance entre les présences simulées et observées

ECOLOGY LETTERS

Ecology Letters, (2017)

doi: 10.1111/ele.12741

LETTER

Predicting the spread of all invasive forest pests in the United States

Abstract

We tested whether a general spread model could capture macroecological patterns across all damaging invasive forest pests in the United States. We showed that a common constant dispersal kernel model, simulated from the discovery date, explained 67.94% of the variation in range size across all pests, and had 68.00% locational accuracy between predicted and observed locational distributions. Further, by making dispersal a function of forest area and human population density, variation explained increased to 75.60%, with 74.30% accuracy. These results indicated that a single general dispersal kernel model was sufficient to predict the majority of variation in extent and locational distribution across pest species and that proxies of propagule pressure and habitat invasibility – well-studied predictors of establishment – should also be applied to the dispersal stage. This model provides a key element to forecast novel invaders and to extend pathway-level risk analyses to include spread.

Keywords

Dispersal kernel, habitat invasibility, macroecology, propagule pressure, spatially explicit.

Ecology Letters (2017)

Emma J. Hudgins,^{1*} Andrew M. Liebhold² and Brian Leung¹

¹Biology Department, McGill University, Montreal, QC, Canada

²Northern Research Station, USDA Forest Service, Morgantown, WV, USA

*Correspondence: E-mail: emma.hudgins@mail.mcgill.ca

5) Modèles statistiques semi-mécanistes

Projet H2020 « HOMED » (2018-2021)
Holistic management of emerging pests and diseases

INRA URZF & WU:

- Modèles génériques pour les risques d'entrée & efficacité des mesures de contrôle à l'entrée
- Modèles génériques pour l'expansion et efficacité des mesures de contrôle de l'expansion
 - échelle continentale
 - échelle locale : e.g., effet des coupes rases pour le PWN, confusion sexuelle pour la PP et P. chêne
- Modèles génériques pour l'émergence en lien avec les changements climatiques, environnementaux et de gestion
- Modèles génériques sur l'impact économique des mesures de contrôle

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !



Wopke van der Werf, Bob Douma, Lia Hemerik, Monique Mourits (Wageningen University), Hella Kehlenbeck (JKI, Allemagne), Hervé Jactel (INRA), Xavier Tassus (ANSES), Guillaume David (CIRAD)...



Groupe de travail « Nématode du pin »



projet H2020 HOMED (2018-2021); projet EFSA PPMPirates (2011-2015);
projet FP7 PRATIQUE (2008-2011); projet FP7 REPHRAME (2011-2014)

