

Faire face aux invasions de bioagresseurs exotiques en forêt: nouveaux enjeux, nouvelles méthodes

Modélisation des voies d'entrée des espèces de pathogènes
et insectes forestiers en Europe via les échanges commerciaux

Christelle ROBINET

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

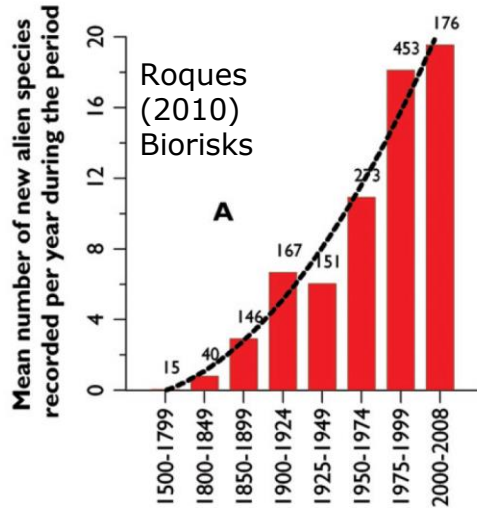


En collaboration avec **DOUMA JC., MAGNUSSON C.,
PIOU D., HEMERIK L. et VAN DER WERF W.**

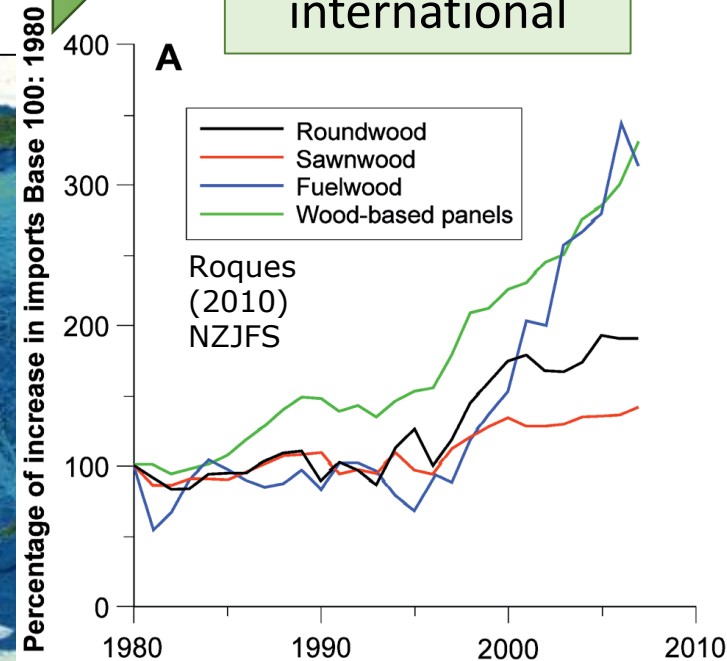
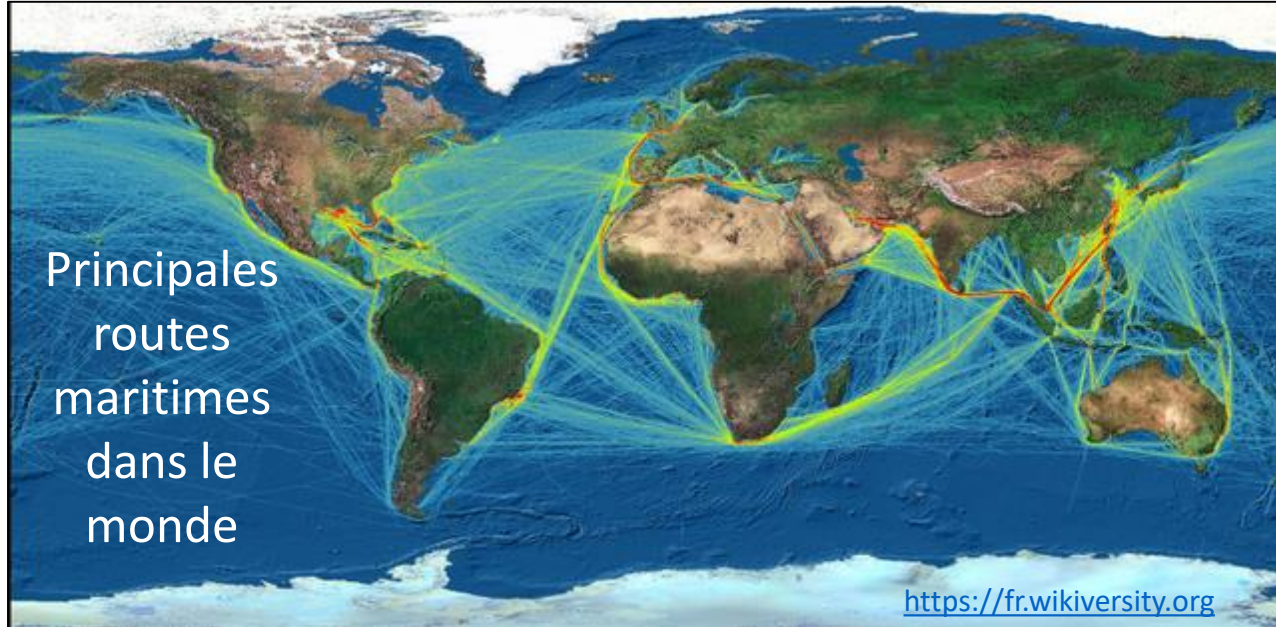
Séance à l'Académie d'Agriculture de France, 28/11/2018

1- INTRODUCTION

Augmentation
du nombre
d'espèces exotiques

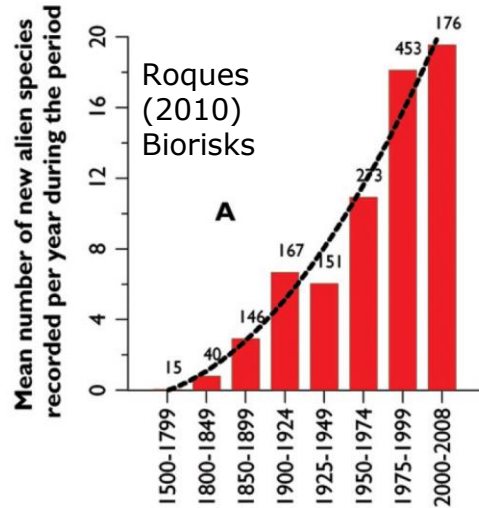


Intensification
du commerce
international

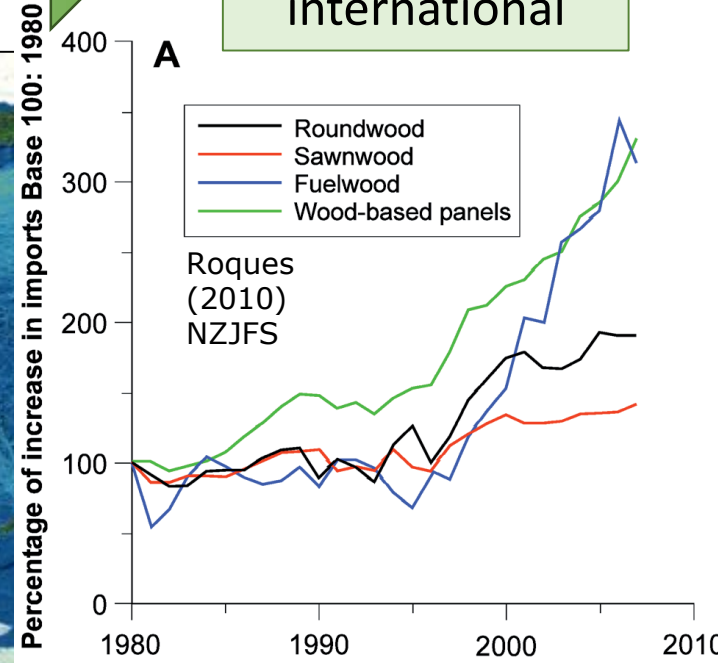
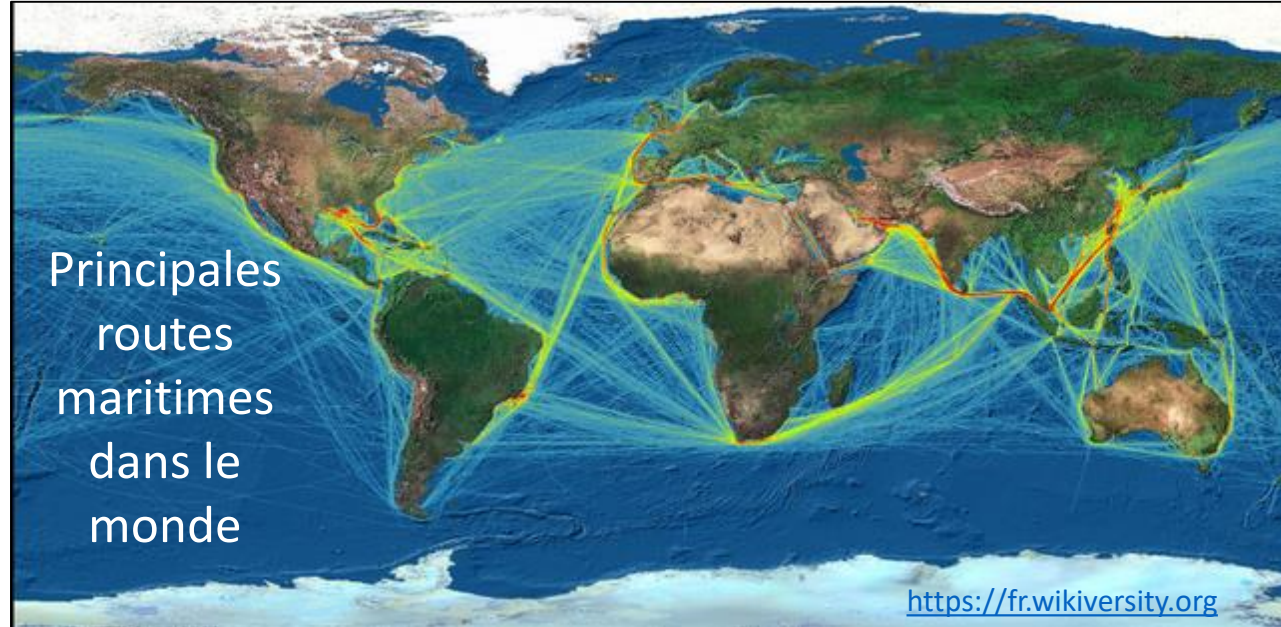


1- INTRODUCTION

Augmentation
du nombre
d'espèces exotiques



Intensification
du commerce
international

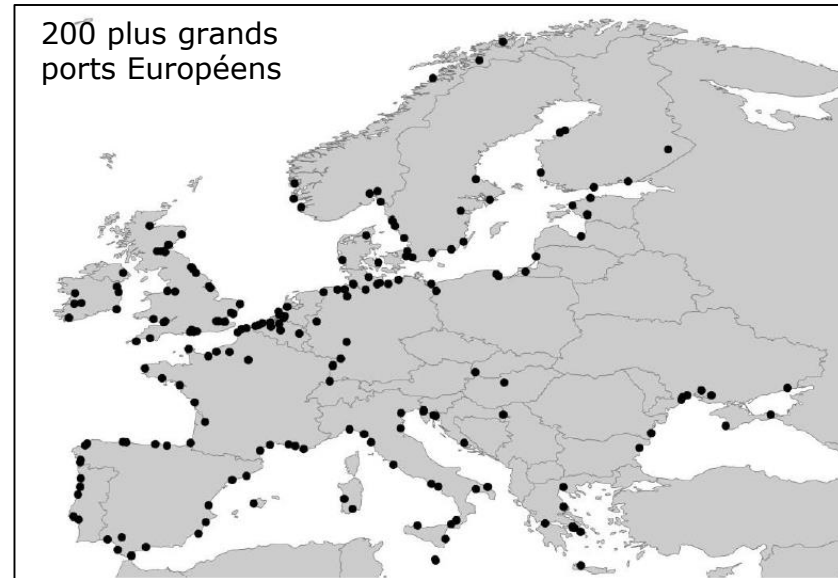


- de plus en plus d'échanges commerciaux
- de plus en plus vite

Singapour – Le Havre: plusieurs mois dans le passé à 22-28 jours maintenant

1- INTRODUCTION

Nombreux points d'entrée en Europe, notamment les ports

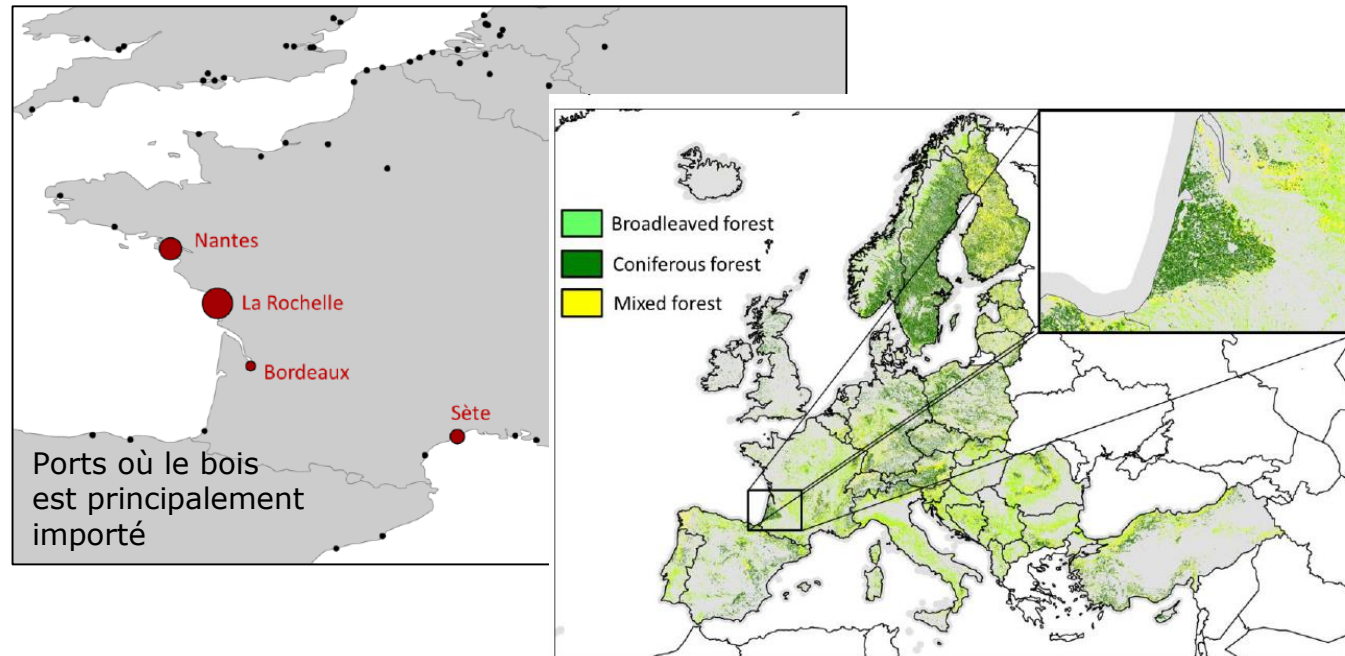


Douma et al. (2015) EFSA report

1- INTRODUCTION

Nombreux points d'entrée en Europe, notamment les ports

Quel est le risque de passage d'un bioagresseur
sur un arbre à proximité des ports?



Douma et al. (2015) EFSA report

Nombreux points d'entrée en Europe, notamment les ports

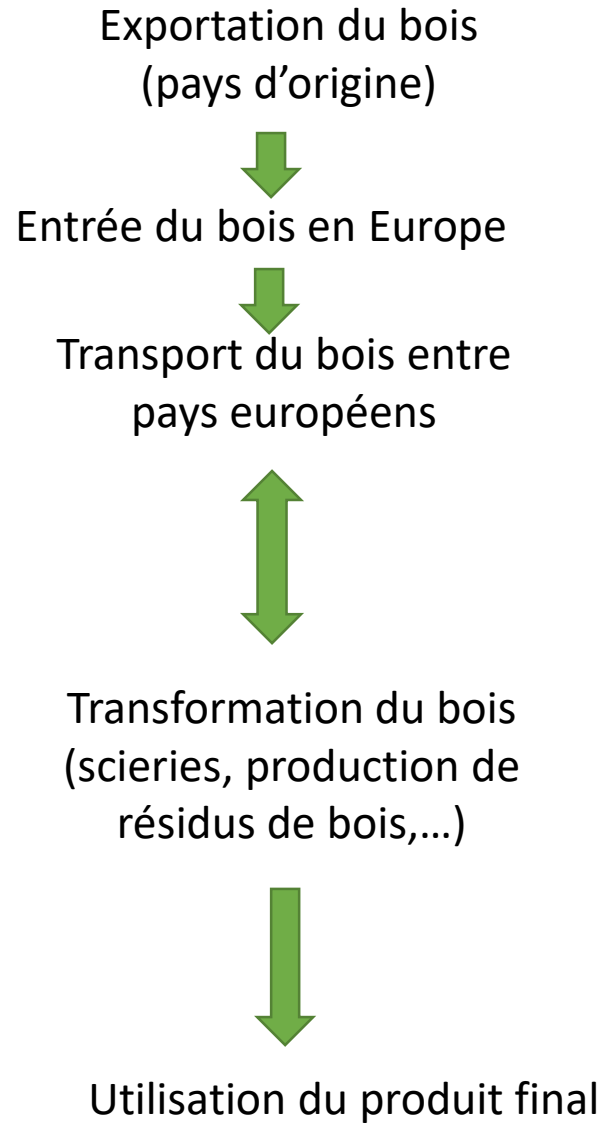
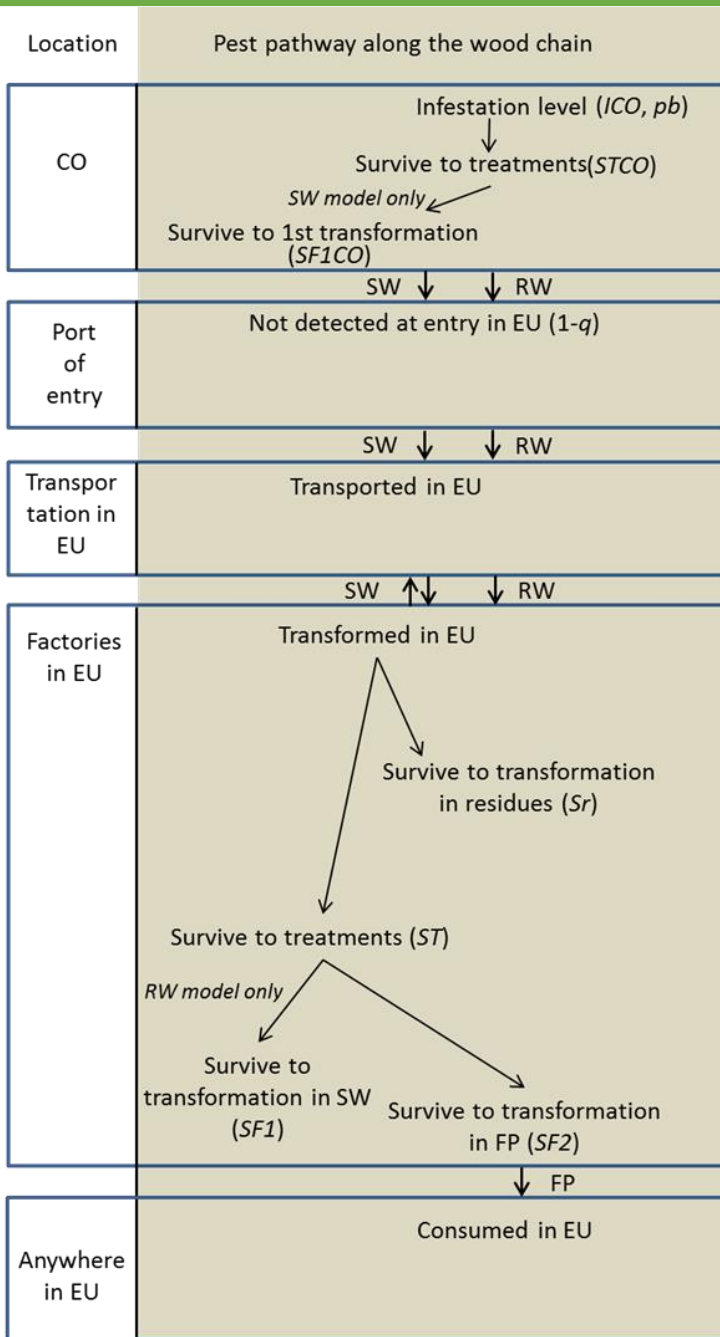
**Quel est le risque de passage d'un bioagresseur
sur un arbre à proximité des ports?**

**La marchandise est transportée et
éventuellement transformée en Europe**

**Comment quantifier le risque d'introduire un
nouveau bioagresseur en Europe avec
l'importation de bois?**

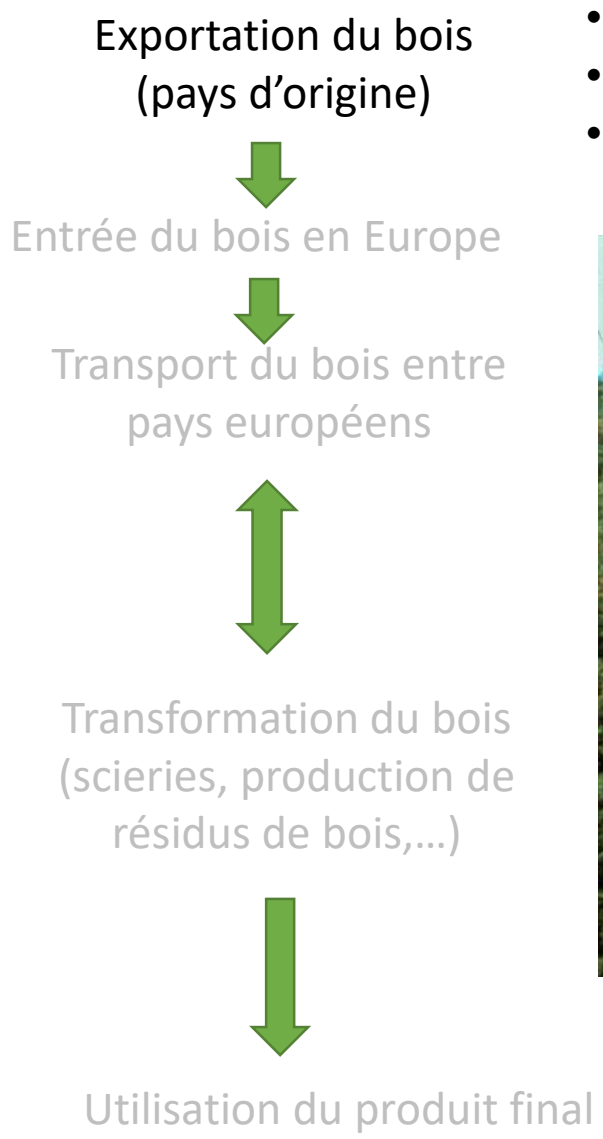
2- MODÈLE DÉCRIVANT LES RISQUES D'INTRODUCTION DE BIOAGRESSEURS

2- MODÈLE DÉCRIVANT LES RISQUES D'INTRODUCTION DE BIOAGRESSEURS



2- MODÈLE DÉCRIVANT LES RISQUES D'INTRODUCTION DE BIOAGRESSEURS

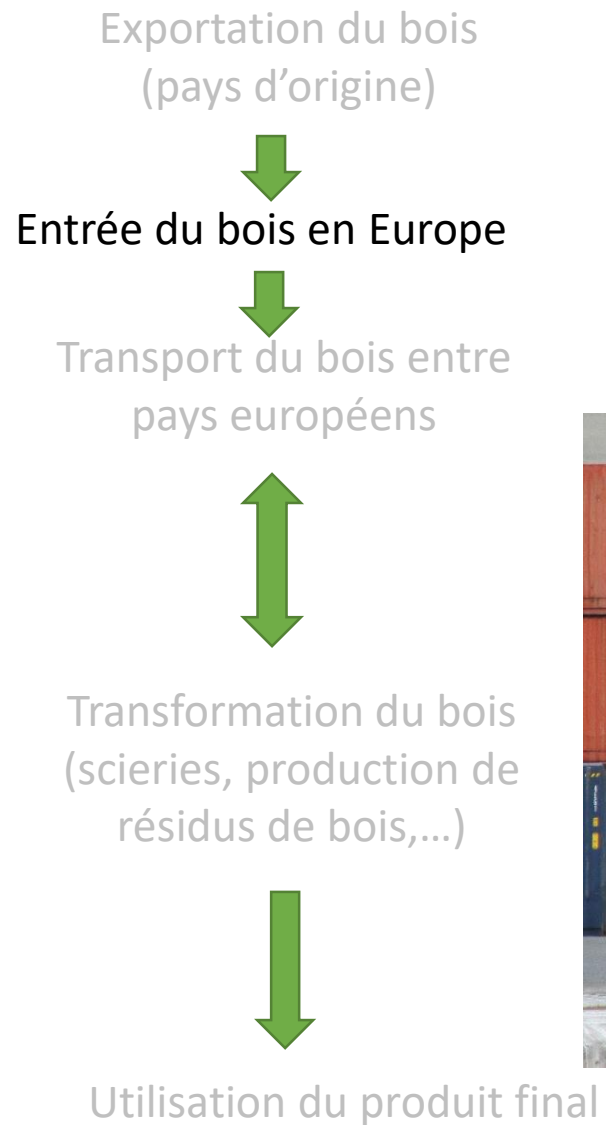
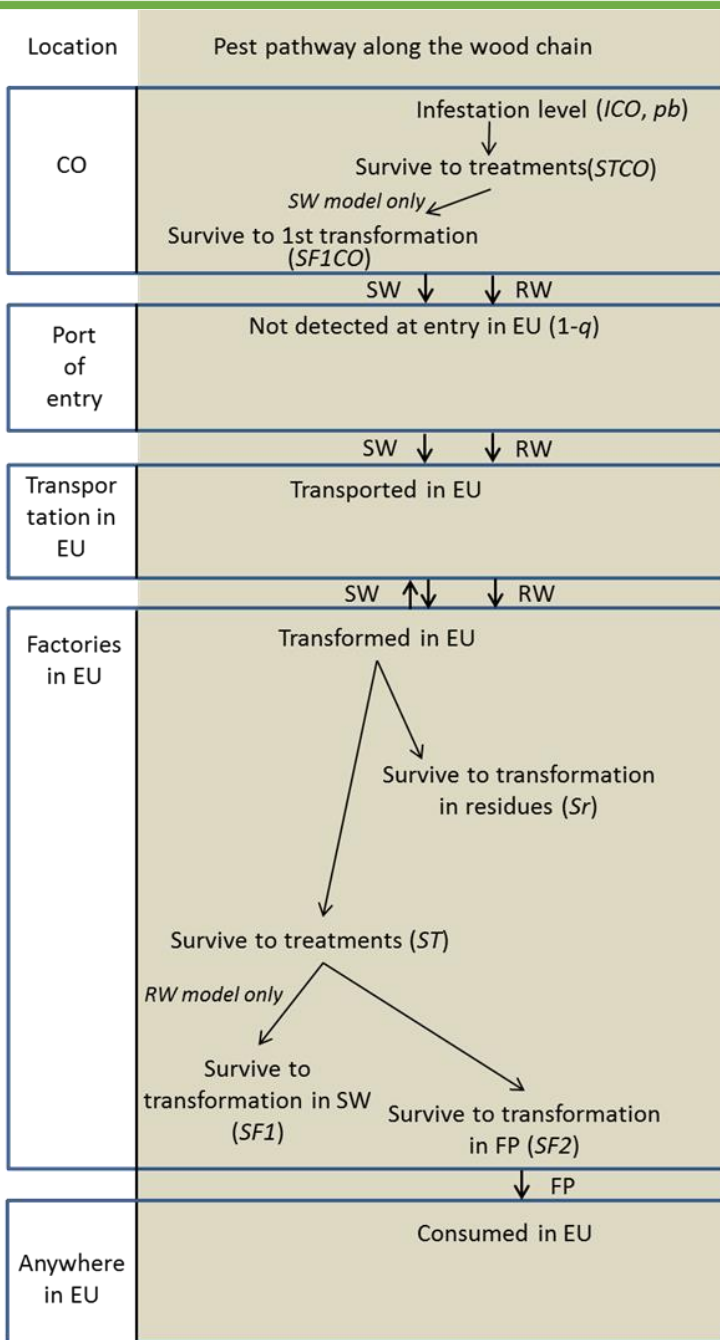
Location	Pest pathway along the wood chain
CO	<p>Infestation level (ICO, pb)</p> <p>↓</p> <p>Survive to treatments ($STCO$)</p> <p><i>SW model only</i> ↙</p> <p>Survive to 1st transformation ($SF1CO$)</p> <p>SW ↓ ↓ RW</p>
Port of entry	Not detected at entry in EU ($1-q$)
Transportation in EU	SW ↓ ↓ RW
Factories in EU	<p>SW ↑ ↓ RW</p> <p>Transformed in EU</p> <p>↙ ↘</p> <p>Survive to transformation in residues (Sr)</p> <p>↙</p> <p>Survive to treatments (ST)</p> <p><i>RW model only</i> ↙ ↘</p> <p>Survive to transformation in SW ($SF1$) Survive to transformation in FP ($SF2$)</p> <p>↓ FP</p>
Anywhere in EU	Consumed in EU



- Taux d'infestation des arbres
- Efficacité des traitements
- Effet de la transformation du bois sur le bioagresseur



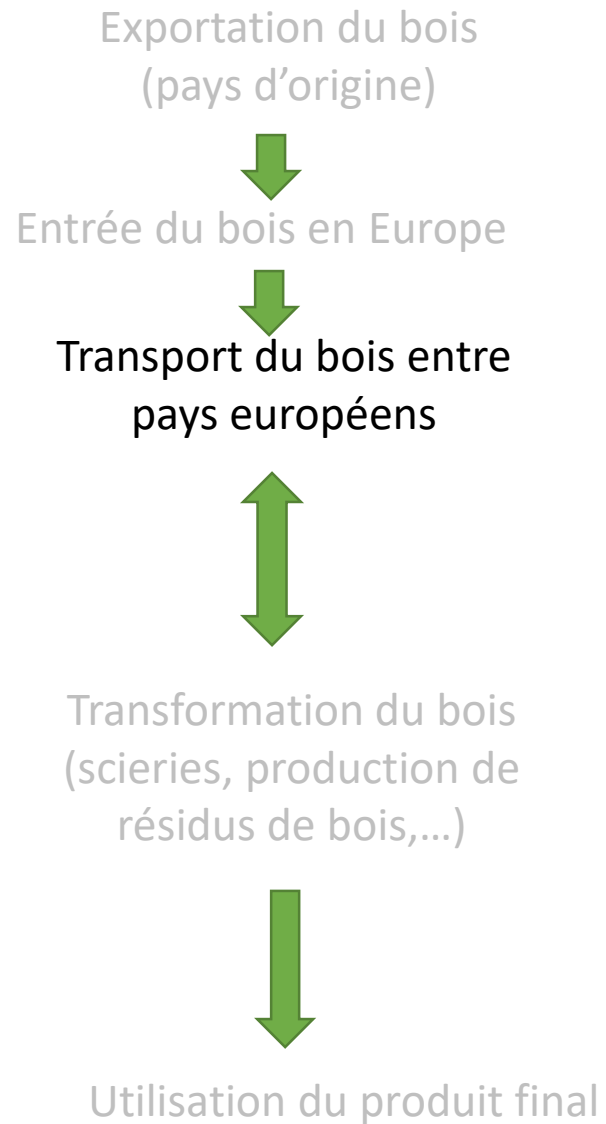
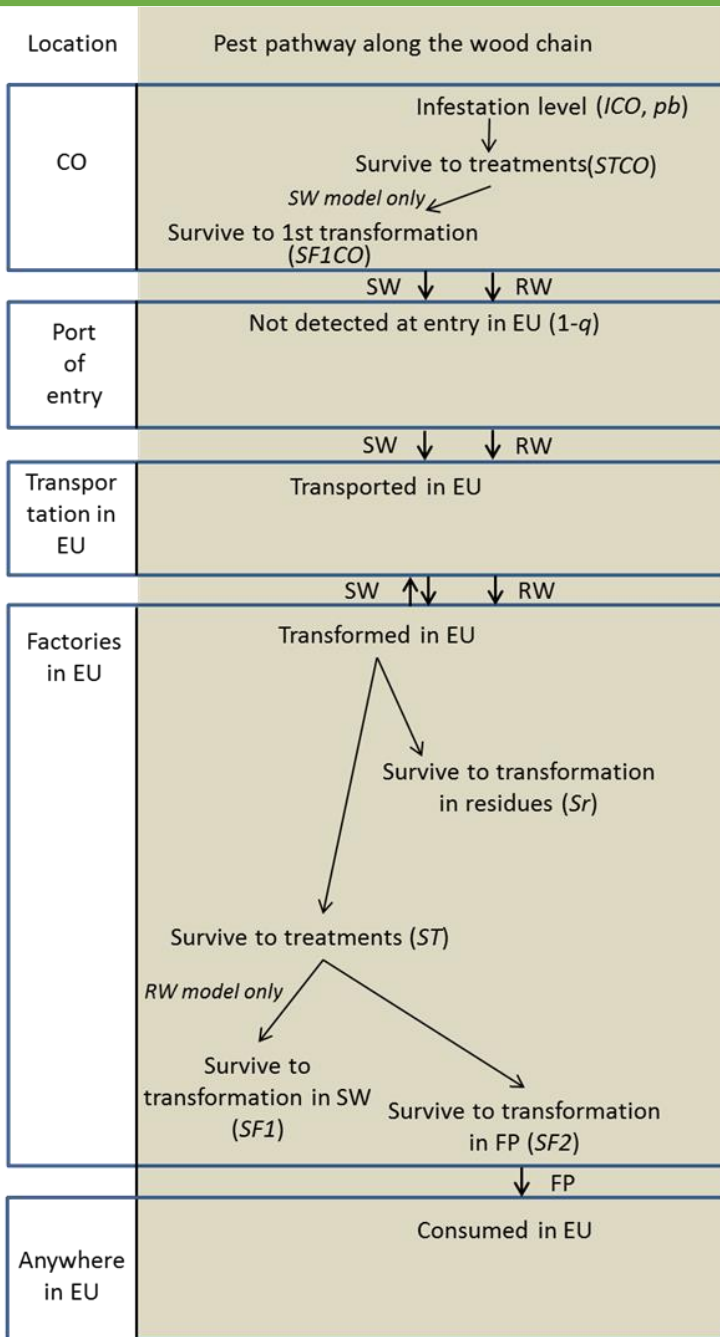
2- MODÈLE DÉCRIVANT LES RISQUES D'INTRODUCTION DE BIOAGRESSEURS



- Probabilité que le bois infesté ne soit pas détecté lors de son entrée en Europe (contrôles phytosanitaires)



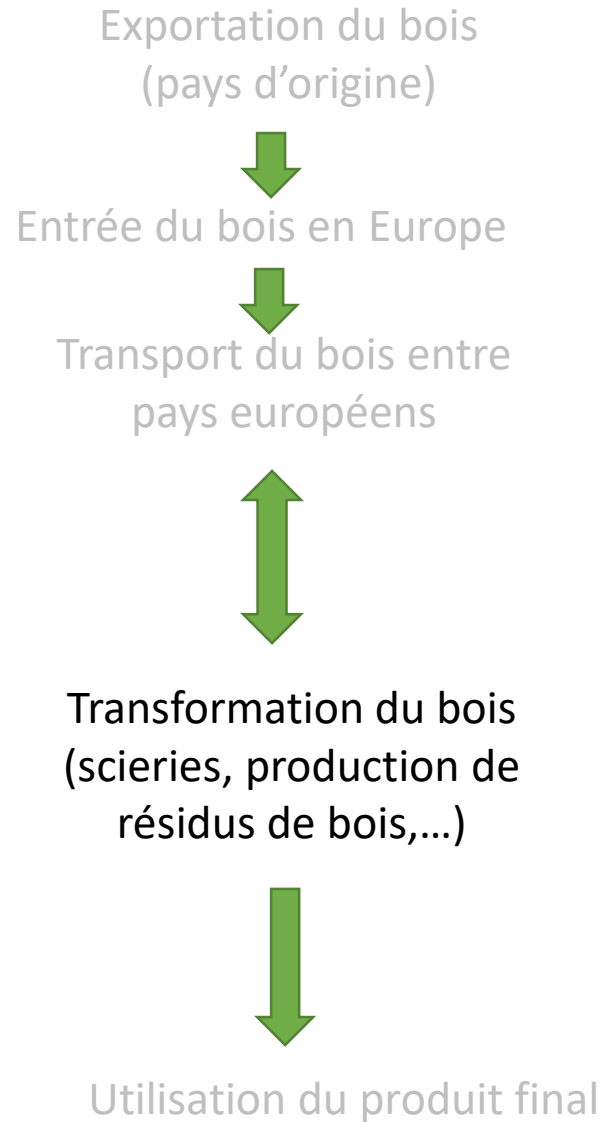
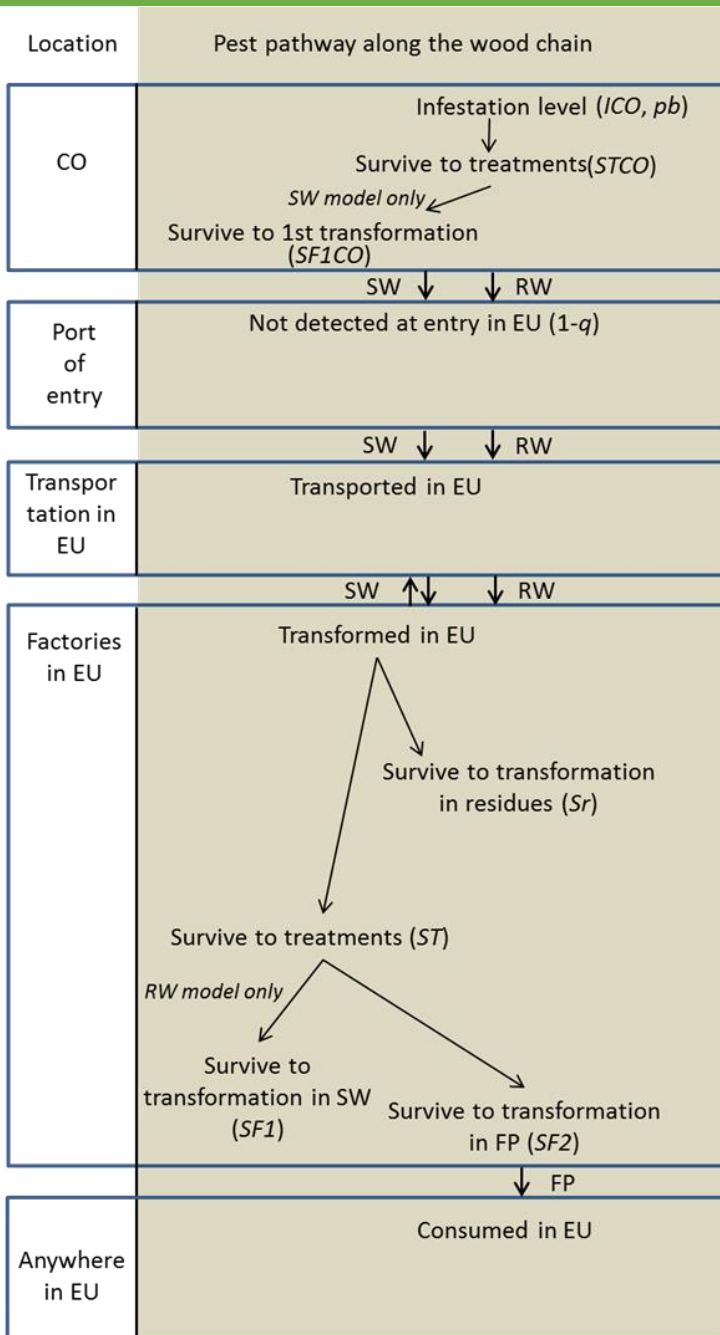
2- MODÈLE DÉCRIVANT LES RISQUES D'INTRODUCTION DE BIOAGRESSEURS



- Distance parcourue et pays traversés
- Pays d'arrivée
- Conditions de transport,...

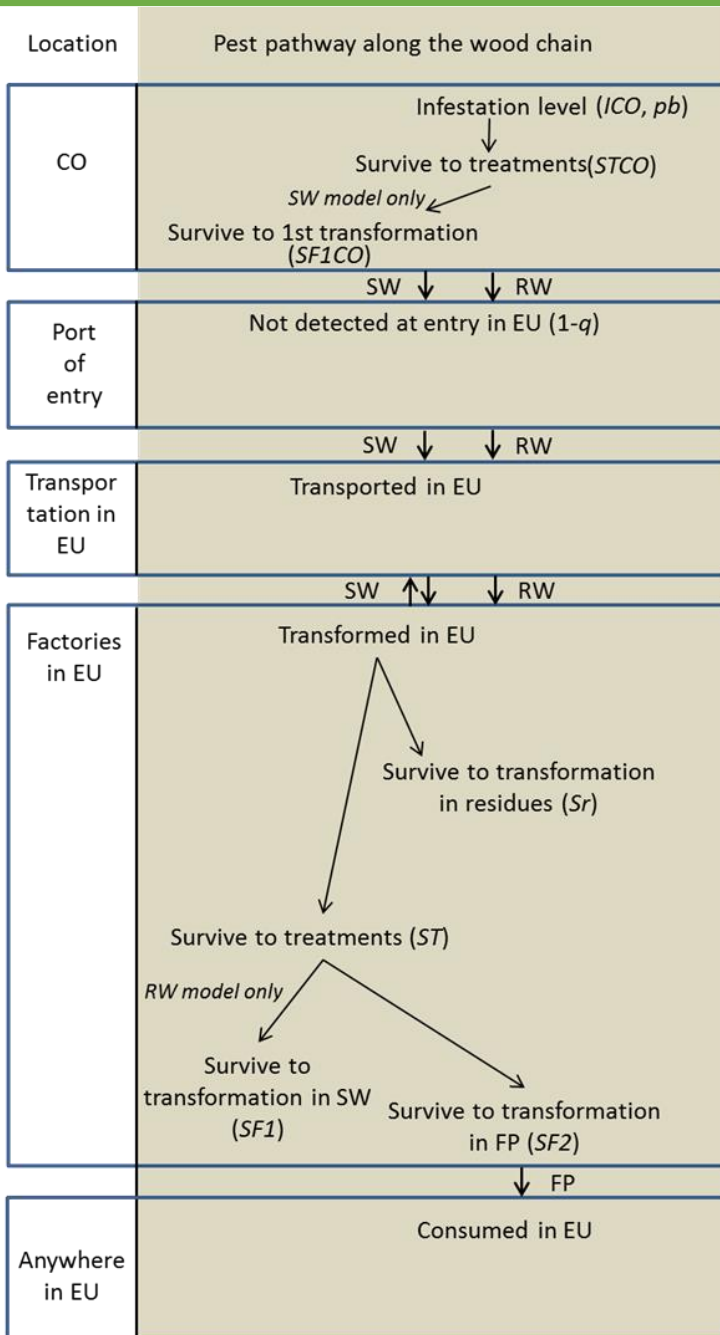


2- MODÈLE DÉCRIVANT LES RISQUES D'INTRODUCTION DE BIOAGRESSEURS



- Bois rond => bois scié => produit final
- Capacités de survie du bioagresseur à ces transformations et dans les résidus de bois.
- Capacités de survie et de dispersion lors du stockage avant et après.

2- MODÈLE DÉCRIVANT LES RISQUES D'INTRODUCTION DE BIOAGRESSEURS



Exportation du bois (pays d'origine)



Entrée du bois en Europe

Transport du bois entre pays européens

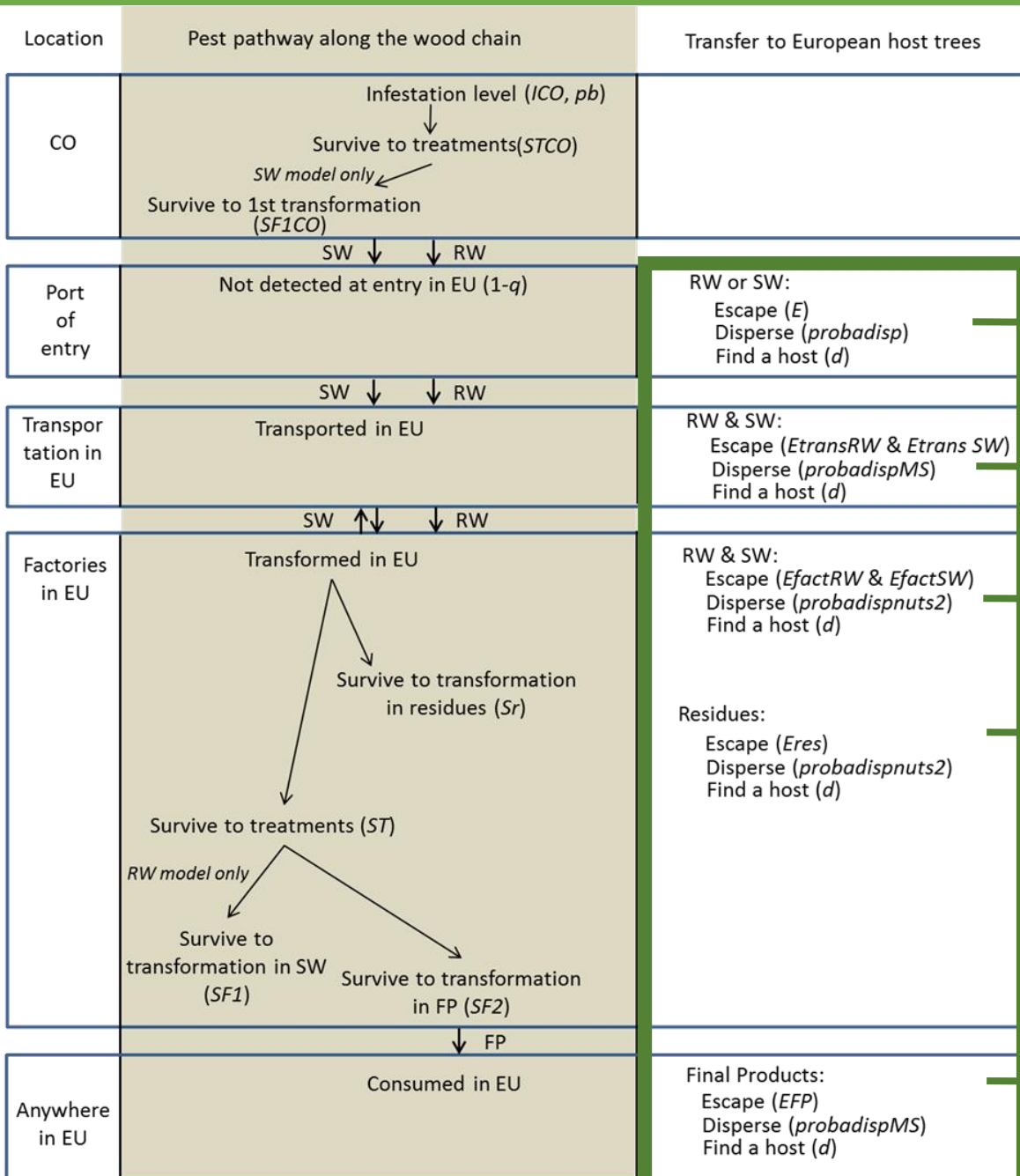
Transformation du bois (scieries, production de résidus de bois,...)

Utilisation du produit final



- Capacités de survie et de dispersion
- Lieux d'utilisation disséminés dans les pays

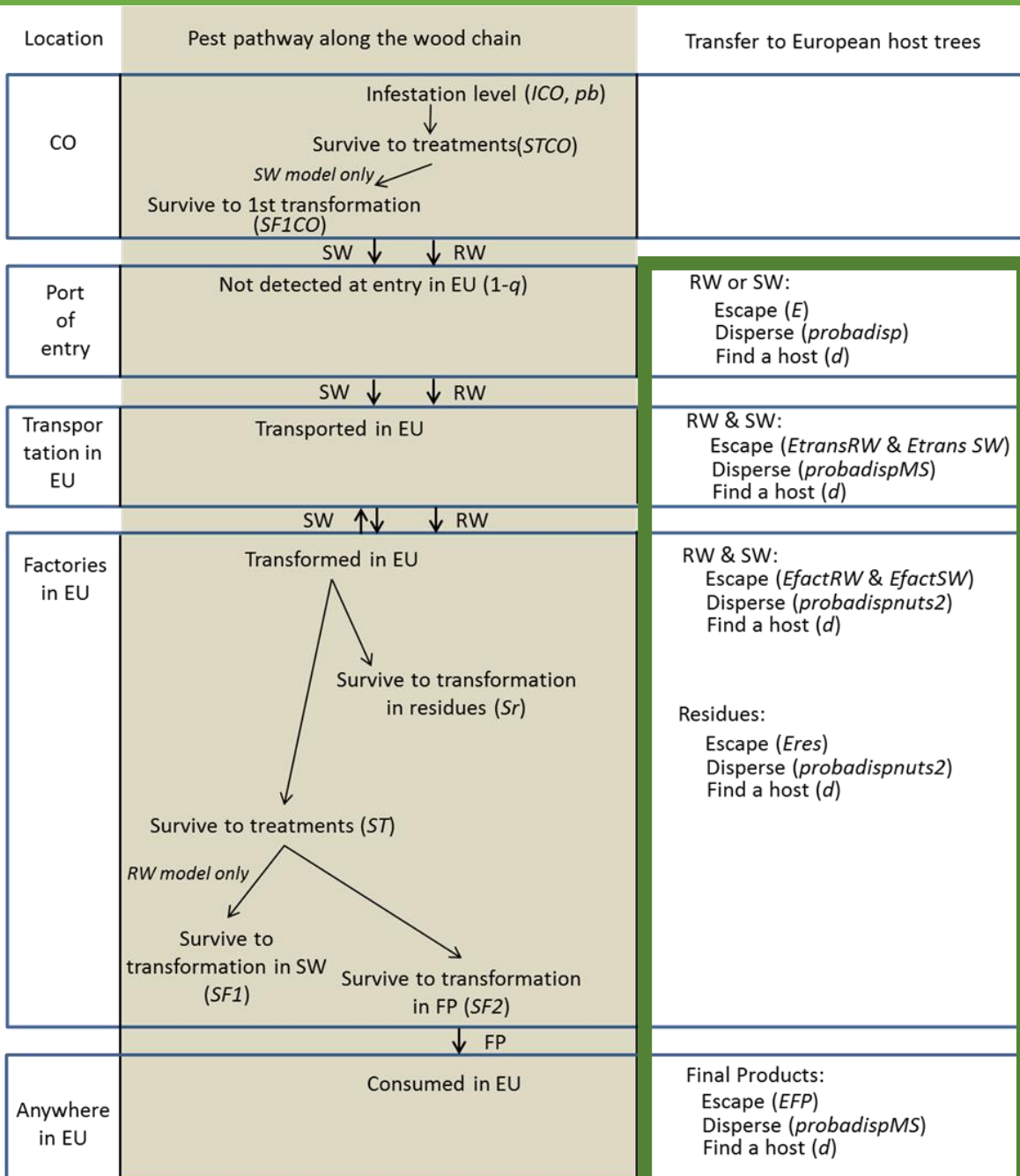
2- MODÈLE DÉCRIVANT LES RISQUES D'INTRODUCTION DE BIOAGRESSEURS



Probabilité que le bioagresseur passe sur un arbre en Europe:

- au niveau des ports
- lors du transport en Europe
- près des scieries lors de la transformation
- près des scieries à partir des résidus de bois
- à partir du produit final

2- MODÈLE DÉCRIVANT LES RISQUES D'INTRODUCTION DE BIOAGRESSEURS



Probabilité que le bioagresseur passe sur un arbre en Europe:

= **probabilité qu'il s'échappe du produit importé**

en fonction du volume du produit infesté,
de la présence d'un insecte vecteur s'il en a besoin,
des conditions de transport (bois confiné dans un container
ne pouvant pas permettre au bioagresseur de s'échapper),

...

X **probabilité que le bioagresseur puisse se disperser**

en fonction des capacités de vol et de la saison de dispersion du
bioagresseur (ou de son insecte vecteur)

X **probabilité que le bioagresseur trouve un arbre hôte**

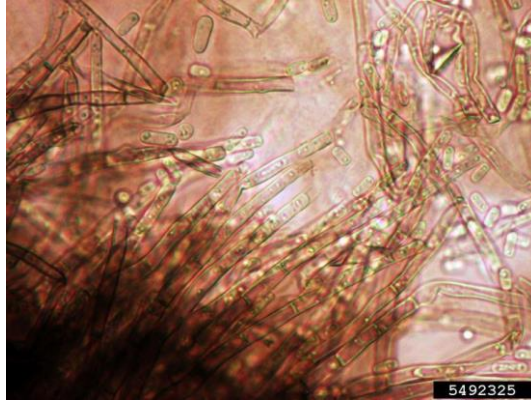
en fonction des capacités de vol et de la distribution des arbres
hôtes en Europe

2- MODÈLE DÉCRIVANT LES RISQUES D'INTRODUCTION DE BIOAGRESSEURS

Quel est le risque sur la santé de nos forêts?

Bioagresseurs menaçant les forêts françaises et européennes

Ceratocystis fagacearum
(flétrissement du chêne)

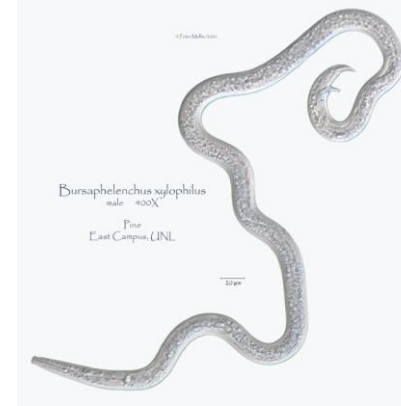


Absent en Europe



EPPO A1

List of pests recommended
for regulation
as quarantine pests



Bursaphelenchus xylophilus
(nématode du pin)

Présent dans la
Péninsule ibérique



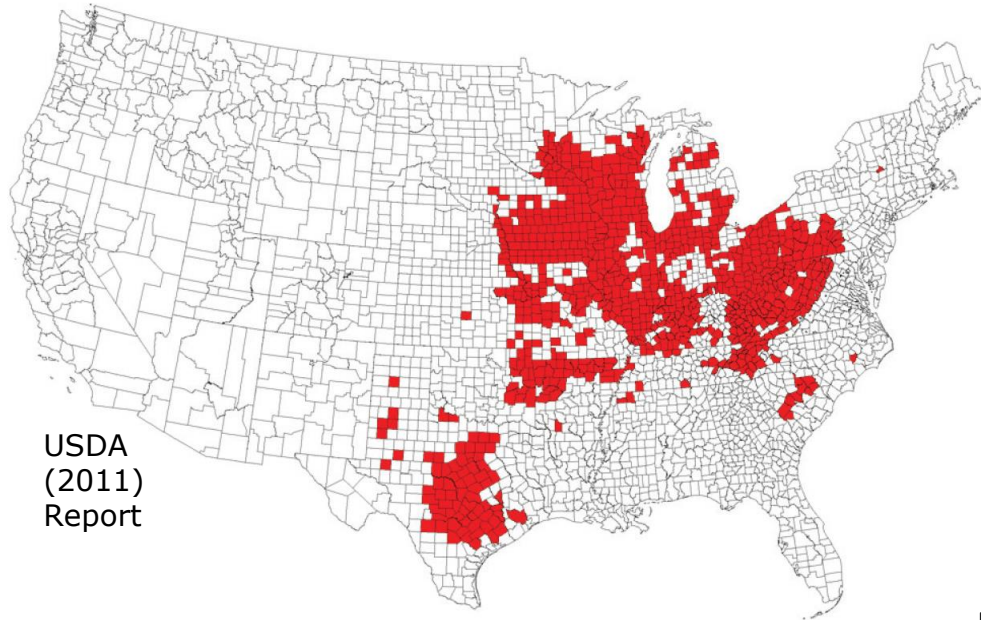
EPPO A2

List of pests recommended
for regulation
as quarantine pests

3- APPLICATION AU PATHOGÈNE RESPONSABLE DU FLÉTRISSEMENT DU CHÊNE

3- APPLICATION AU PATHOGÈNE RESPONSABLE DU FLÉTRISSEMENT DU CHÊNE

Mortalité des chênes observée depuis la fin du XIX^{ème} siècle, attribué à *C. fagacearum* depuis 1942



Fructifications entre l'écorce et le bois

Figure 1.—In 2010, oak wilt was distributed over much of the Eastern United States.

- Chênes rouges très sensibles: mort de l'arbre très rapide
- Chênes blancs moins sensibles: mort lente des arbres
- **Chênes blancs européens très sensibles (expérimentations aux USA)**

Dispersion

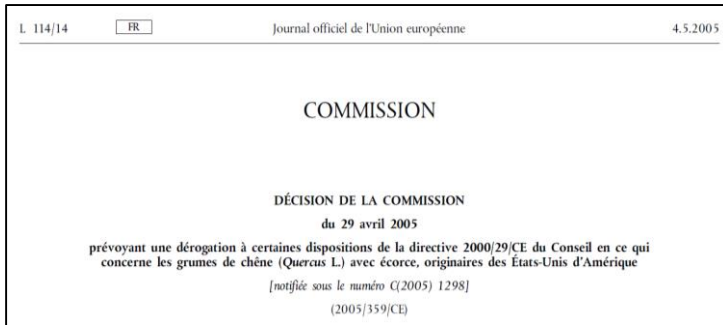
- Contacts racinaires
Contacts racinaires chêne/chêne importants en Europe
- Insectes vecteurs
Coléoptères, scolytes, ...
En Europe: *Scolytus intricatus*

Survie dans le bois

- Le pathogène peut subsister :
- plusieurs mois dans les sciages
 - près d'un an dans les grumes

3- APPLICATION AU PATHOGÈNE RESPONSABLE DU FLÉTRISSEMENT DU CHÊNE

Réglementation européenne
 Décisions 2005/359/CE, 2006/750/CE et 2010/723/UE

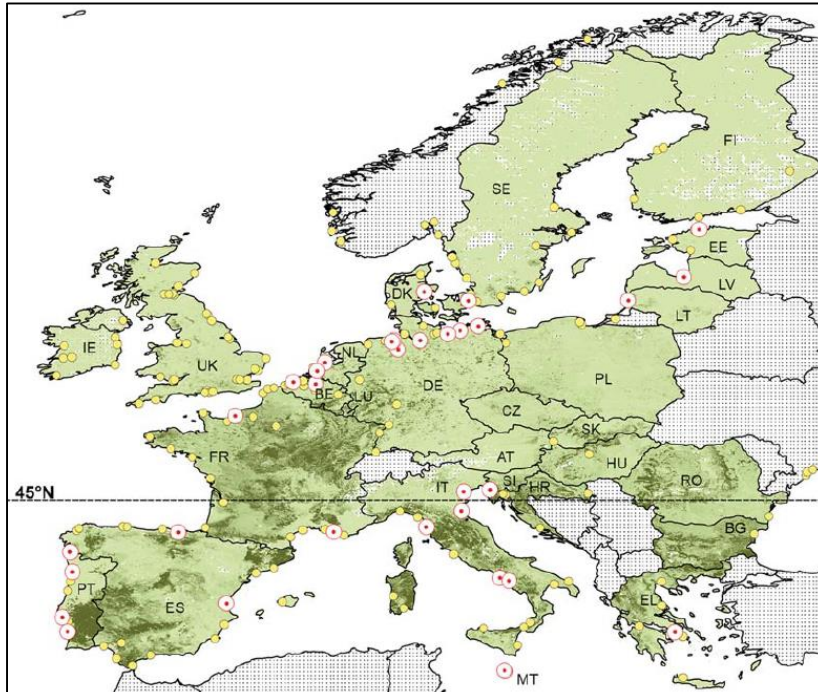


3 options d'importation et les principales mesures

	Option BF	Option BNF	Option DB
Chêne	blanc ou rouge	blanc	blanc ou rouge
Ecorce	avec ou sans	avec ou sans	sans
Traitement	fumigation	aucun	coupé, sec ou désinfecté
Inspections spécifiques	test de fumigation sur des grumes prises au hasard dans chaque lot	test d'identification chêne blanc sur > 10% des grumes/lot	
Ports autorisés	35 ports	35 ports	tous les ports
Conditions de stockage		humide continu	
Saison d'exportation		15 oct – 30 avril	
Zones de transport		> 45°N	
Lieux de transformation	Seulement dans les scieries autorisées et les résidus de bois sont détruits	Seulement dans les scieries autorisées et les résidus de bois sont détruits	

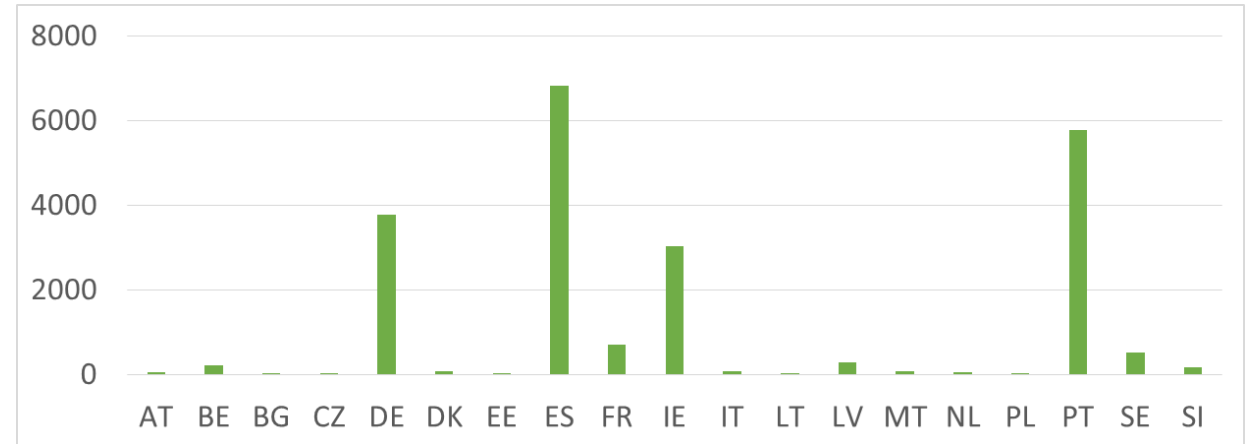
3- APPLICATION AU PATHOGÈNE RESPONSABLE DU FLÉTRISSEMENT DU CHÊNE

- Distribution des chênes en Europe (selon le Joint Research Centre)



Points rouges: 35 ports où l'importation est autorisée (scénarios BF et BNF)

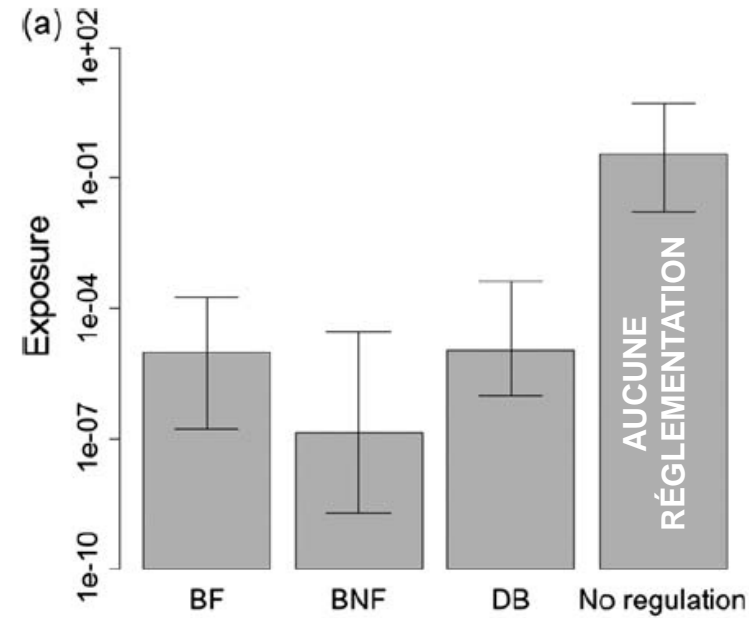
- Grumes de chêne importées en Europe depuis les USA entre 2001 et 2009



Importation de grumes de chênes (tonnes) d'après Eurostat

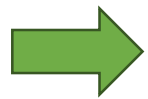
- Estimation des paramètres
 - 21 paramètres non spécifiques du bioagresseur (densité du bois, les flux commerciaux, proportion de bois rond transformé,...)
 - 24 paramètres spécifiques du bioagresseur (proportion d'arbres infestés, survie aux traitements, aux transformations...)

3- APPLICATION AU PATHOGÈNE RESPONSABLE DU FLÉTRISSEMENT DU CHÊNE

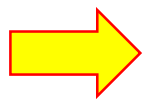


Robinet et al. (2016) Forestry

Option BF	Option BNF	Option DB	Aucune réglementation
$9,7 \times 10^{-6}$ prop/an	$1,4 \times 10^{-7}$ prop/an	$1,1 \times 10^{-5}$ prop/an	$3,6 \times 10^{-1}$ prop/an

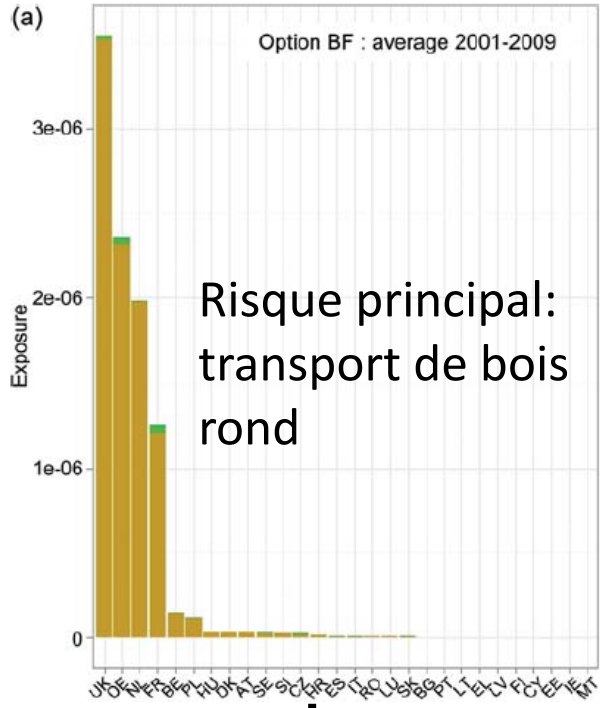


- La réglementation actuelle permet de diminuer nettement les risques d'introduction
- Toutes les restrictions pour l'option BNF portent ses fruits



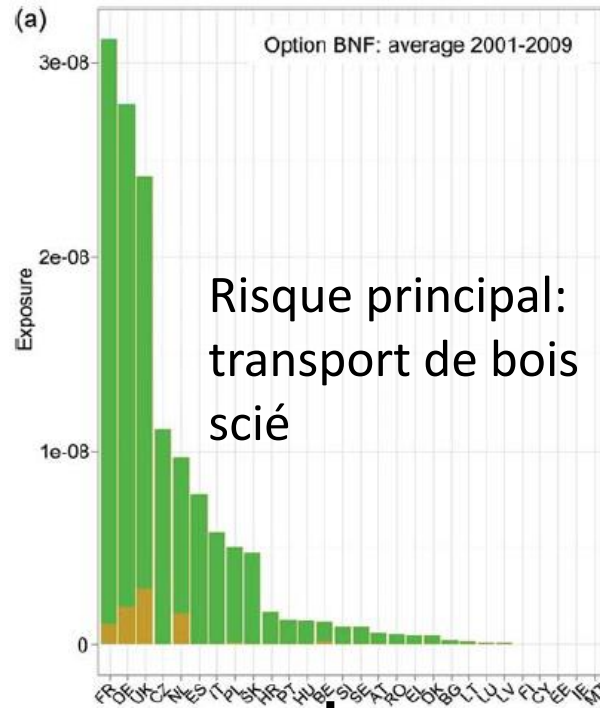
- Réglementation actuelle efficace: nécessité de poursuivre cette effort de prévention
- Si défaillance dans ces mesures, risque très élevé d'introduire le pathogène en Europe

3- APPLICATION AU PATHOGÈNE RESPONSABLE DU FLÉTRISSEMENT DU CHÊNE



Option BF (2001-2009)

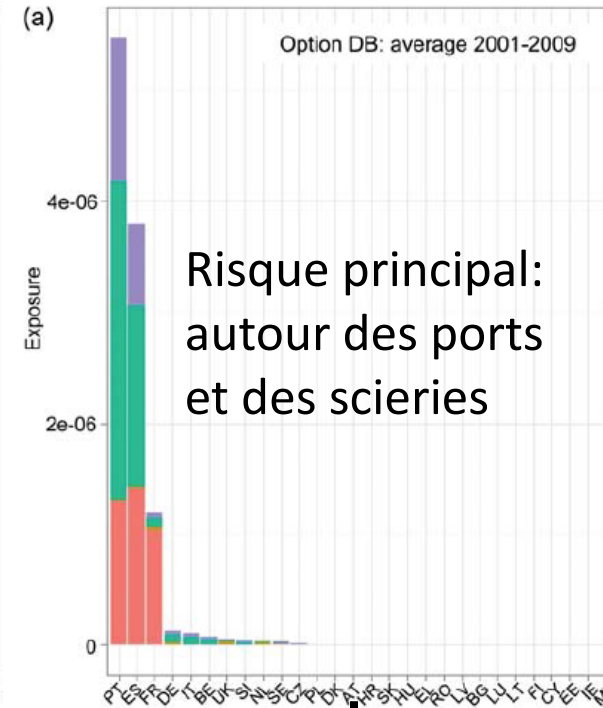
- 1) UK
- 2) DE
- 3) NL
- 4) **FR**



Option BNF (2001-2009)

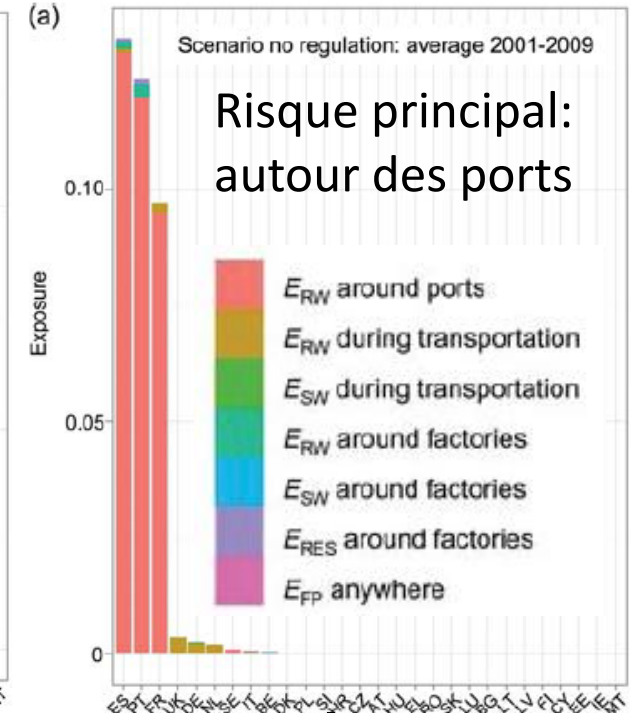
- 1) **FR**
- 2) DE
- 3) UK
- 4) CZ

Robinet et al. (2016) Forestry



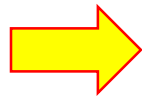
Option DB (2001-2009)

- 1) PT
- 2) ES
- 3) **FR**
- 4) DE



Sans réglementation

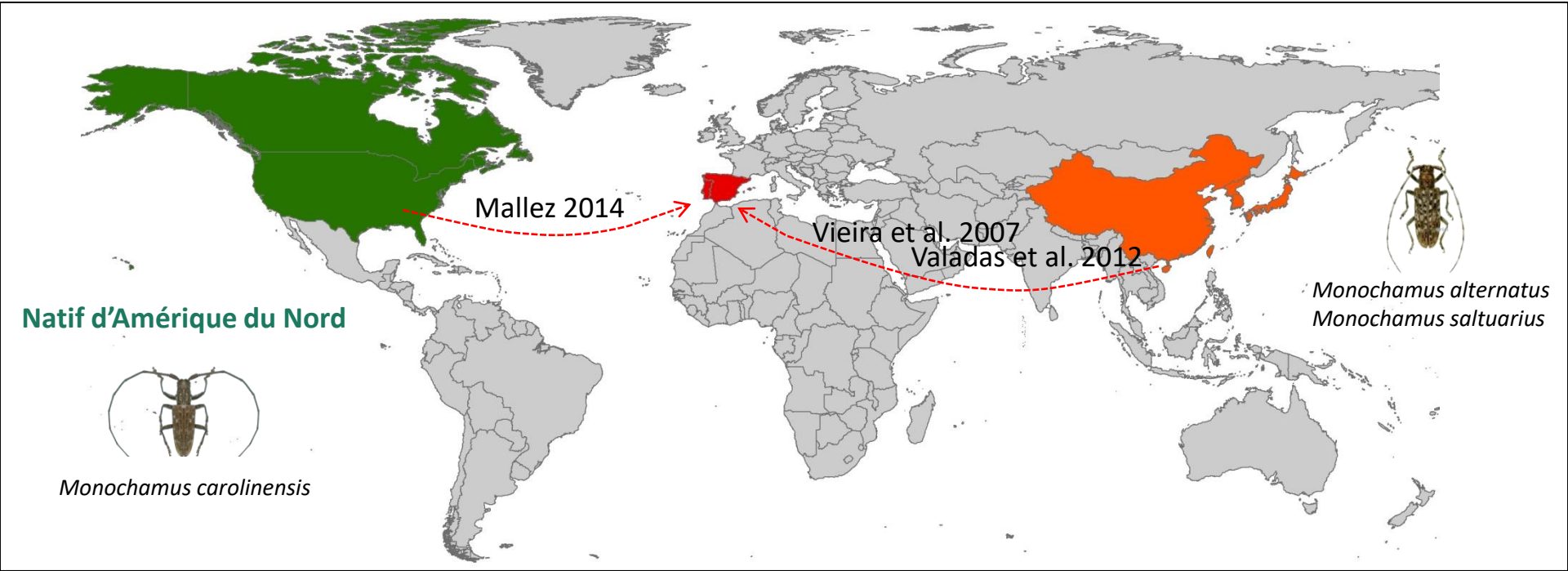
- 1) ES
- 2) PT
- 3) **FR**
- 4) UK



La France est parmi les pays européens où le risque est le plus élevé

4- APPLICATION AU NÉMATODE DU PIN

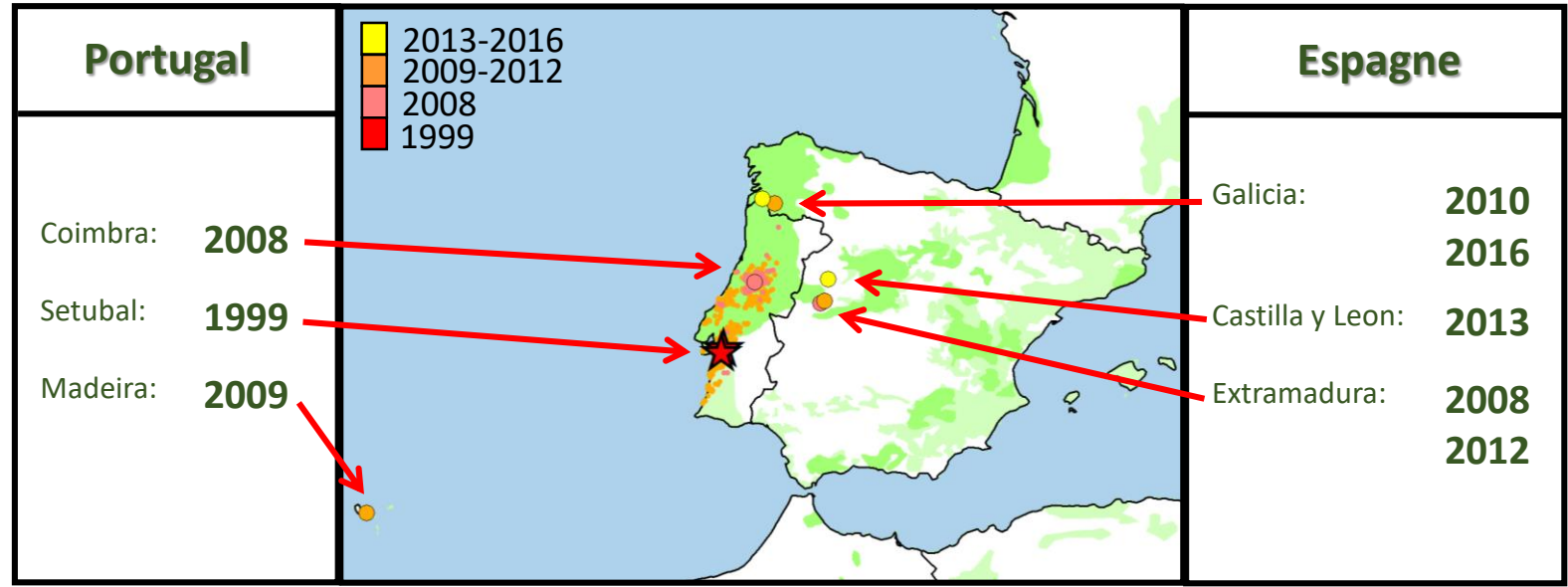
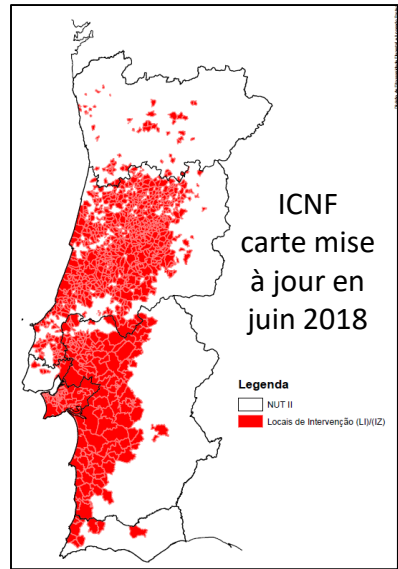
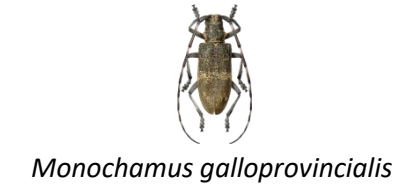
4- APPLICATION AU NÉMATODE DU PIN



- Introduction en Asie:**
- Japon 1905
 - Chine 1982
 - Taiwan 1985
 - Corée 1988

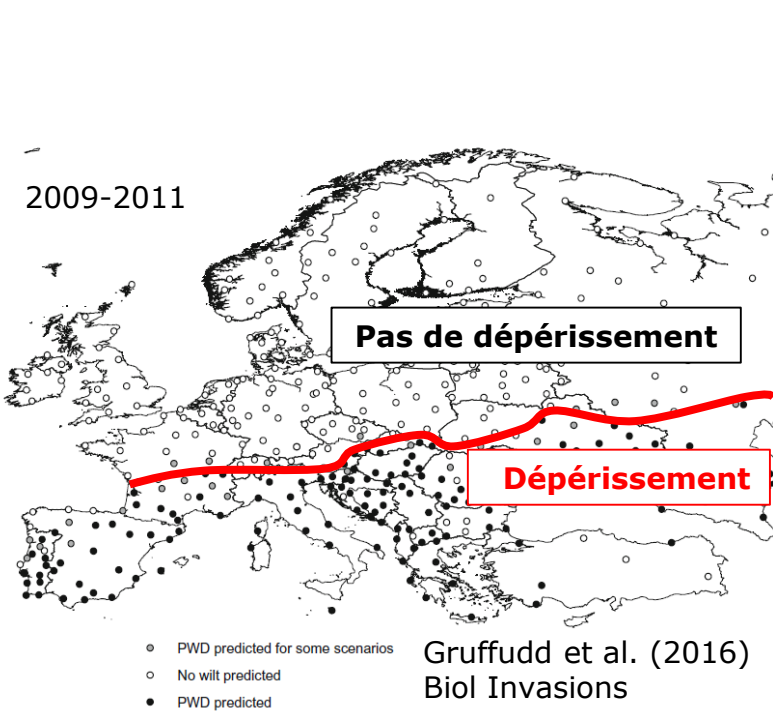
- Introduction en Europe:**
- Portugal 1999
 - Espagne 2008

Insecte vecteur européen



4- APPLICATION AU NÉMATODE DU PIN

- Le nématode du pin peut tuer un pin sain en 4-5 semaines sous certaines conditions (notamment Tmoy Juin-Aout $\geq 20^{\circ}\text{C}$)
- Les arbres hôtes (pins maritimes, mais aussi pins sylvestres....) sont largement distribués
- Insectes vecteurs largement distribués en Europe



Monochamus galloprovincialis

VECTEUR AU PORTUGAL



Monochamus saltuarius

**VECTEUR EN COREE,
ET AU JAPON**



Monochamus sutor ?



Monochamus sartor ?

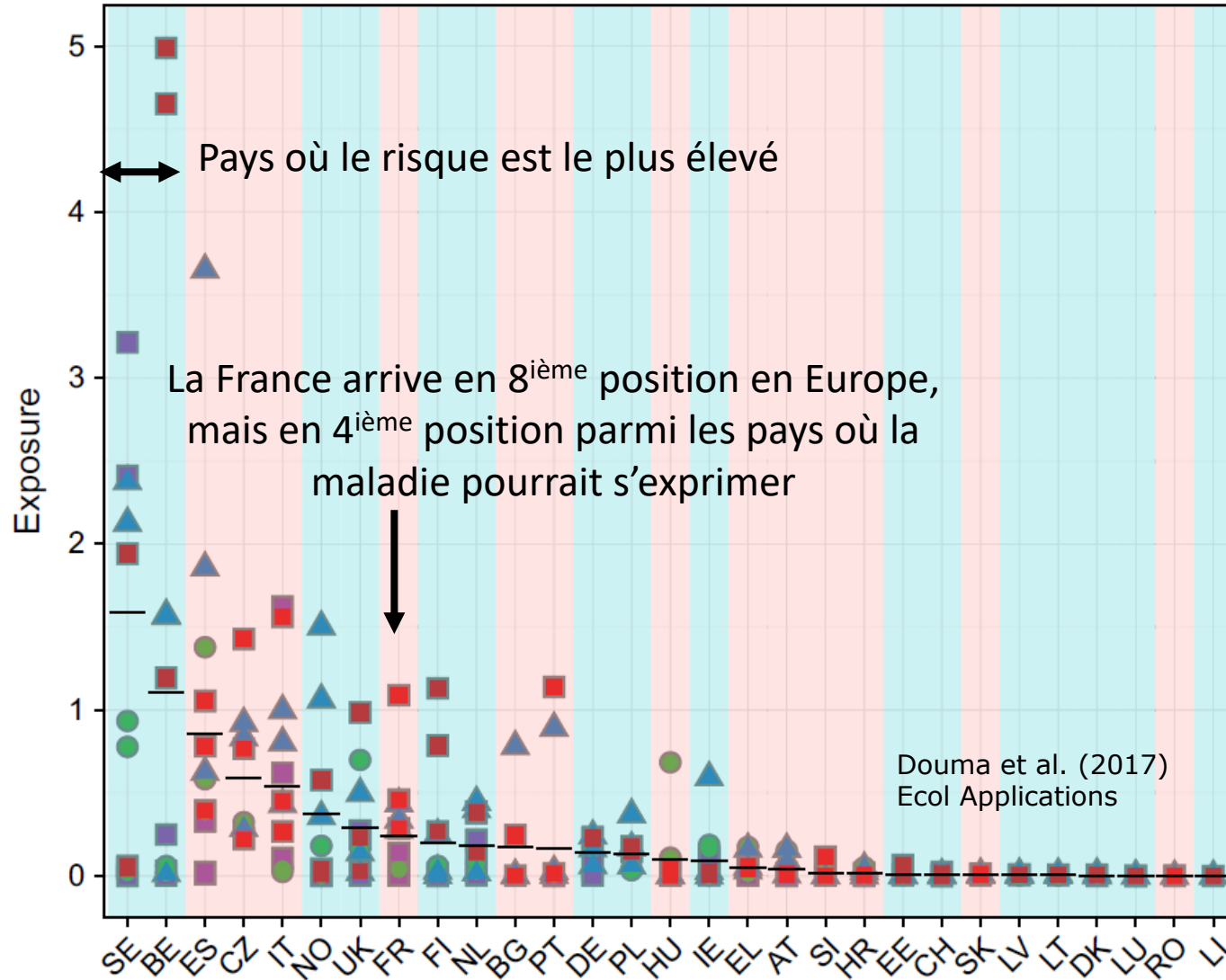


Monochamus urussovi ?

4- APPLICATION AU NÉMATODE DU PIN

Bois rond et bois scié de pin importé de Chine entre 2000-2012

- Risque d'introduction par pays



- 88% du risque lié à l'importation de bois scié vs 12% pour le bois rond

Wilting
No Tmoy juin-aout < 20°C
Yes Tmoy juin-aout ≥ 20°C

Period
2000-2003
2004-2006
2007-2009
2010-2012

- Endroits où la maladie ne s'exprimerait pas = 62% des risques d'introduction => rôle potentiel de réservoir ?

4- APPLICATION AU NÉMATODE DU PIN

Bois rond et bois scié de pin importé de Chine entre 2000-2012

- Risque d'introduction par région
Exposition par unité de surface

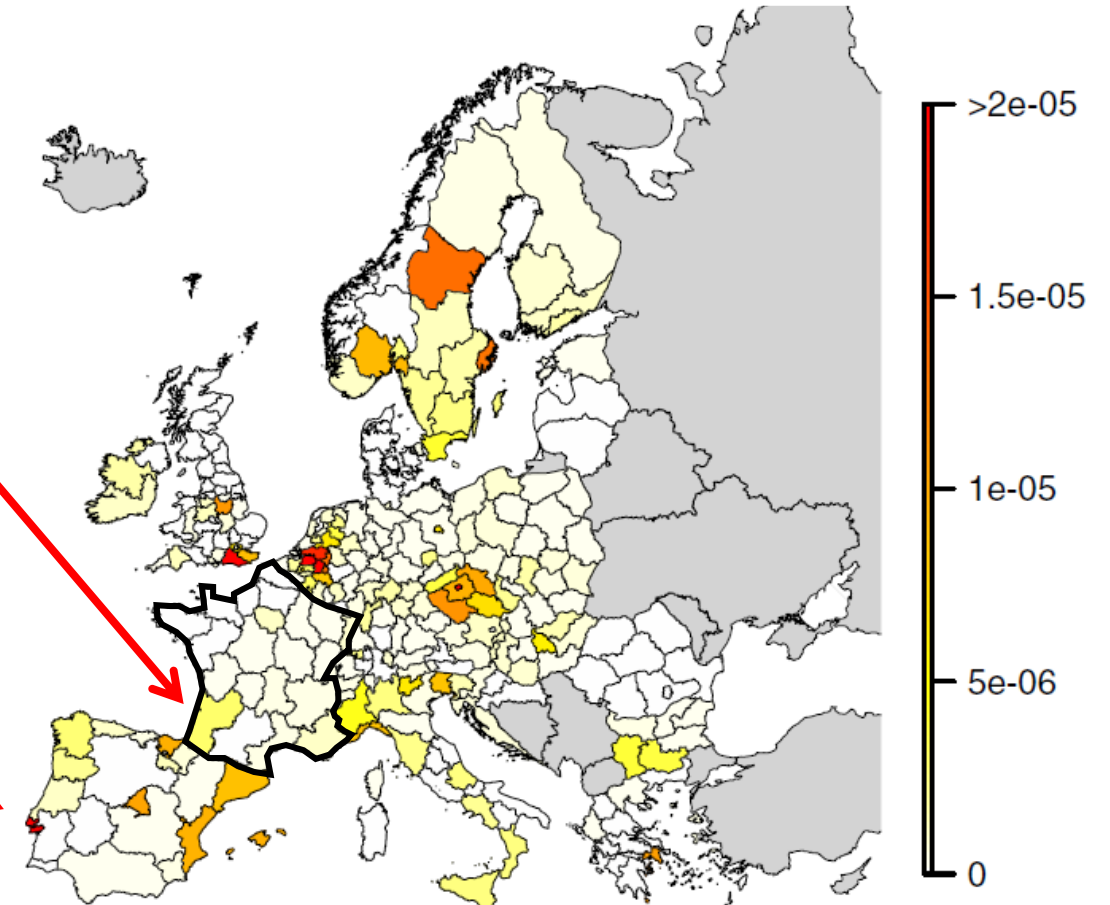
Aquitaine

= région le risque était le plus élevé en France

Setubal

= région où le nématode du pin a été détecté la première fois (1999)

= région où l'exposition par unité de surface était la plus élevée (importation de bois + arbres hôtes + conditions favorables pour le vecteur)



Douma et al. (2017) Ecol Applications

4- APPLICATION AU NÉMATODE DU PIN

- Le nématode du pin est déjà sur le continent européen. Sans nouvelle introduction, il pourrait quand même se propager.
- Impact économique serait très important s'il n'y avait pas de mesure de contrôle: 22-27 milliards d'€ sur 2006-2030 (coût direct).

Table 2. Infestation level and cumulative direct impact over 22 years of uncontrolled PWN spread in Europe.

Region	Coarse resolution		Fine resolution		
	Proportion infested area	Direct impact	Proportion infested area	Direct impact	Direct impact
	(%)	(M€/region)	(%)	(M€/region)	(€/km ²)
Italy	0.15	30	0.15	30	43,136
Portugal	97.49	6,106	82.44	5,164	46,895
Spain	95.15	20,645	67.52	14,649	28,530
France					
Languedoc-Roussillon	84.65	1,084	50.32	644	28,831
Bourgogne	0	0	0.06	1	16,079
Poitou-Charentes	0	0	0.09	1	21,381
Aquitaine	0	0	19.86	1,219	90,611
Midi-Pyrenees	0	0	22.18	289	17,749
Limousin	0	0	1.71	15	30,124
Rhone-Alpes	0	0	14.71	215	19,626
Auvergne	0	0	0.19	3	31,792
Provence-Alpes Cote d'Azur	0	0	15.63	145	18,217
Total (EU)	13.7	27,865	10.6	22,375	

Impact important:
 - en Espagne,
 - au Portugal, et
 - en France
 Aquitaine: > 1 milliard d'€

4- APPLICATION AU NÉMATODE DU PIN

- Réglementation européenne

L 266/42

FR

Journal officiel de l'Union européenne

2.10.2012

DÉCISION D'EXÉCUTION DE LA COMMISSION

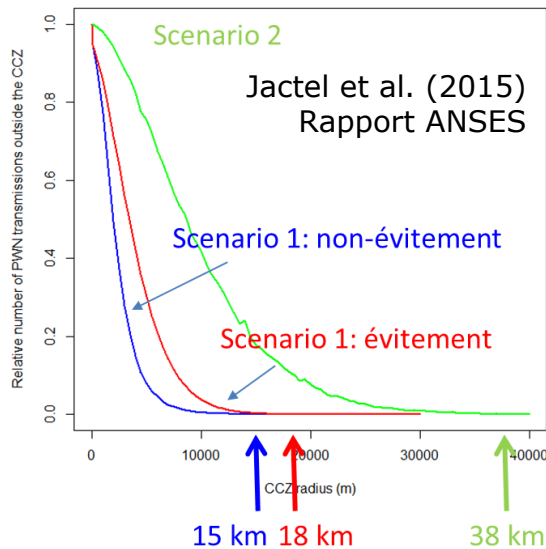
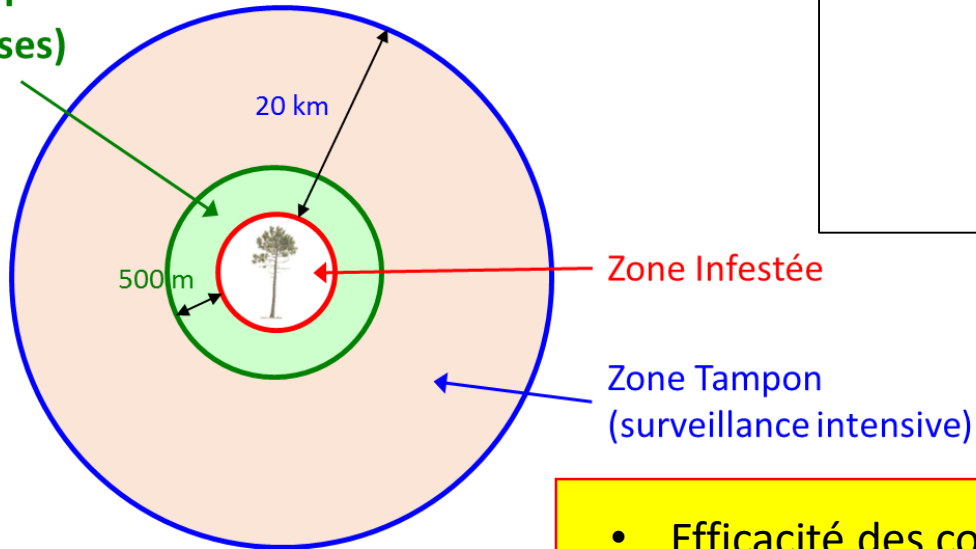
du 26 septembre 2012

relative aux mesures d'urgence destinées à prévenir la propagation, dans l'Union, de *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhner) Nickle *et al.* (nématode du pin)

[notifiée sous le numéro C(2012) 6543]

(2012/535/UE)

Eradication (coupes rases)

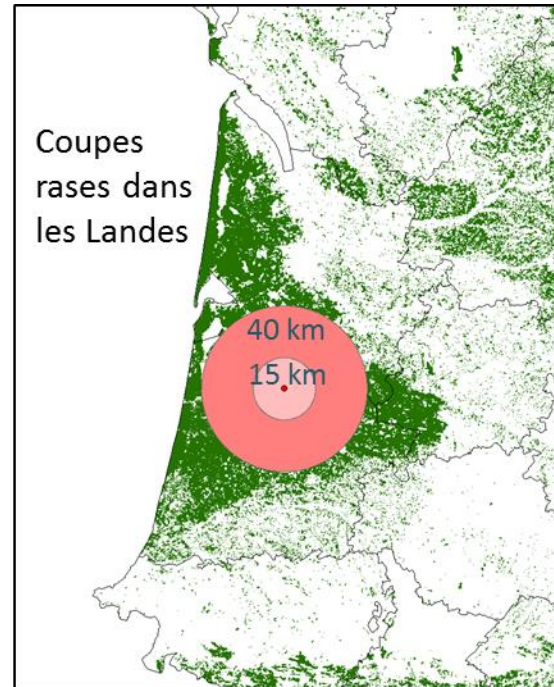


- Efficacité des coupes rases sur un rayon de 500 m remise en question (rapport ANSES 2015)

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

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

- Importance de la surveillance pour la détection précoce



5- CONCLUSIONS

UN PREMIER MODÈLE DE ROUTE D'INVASION POUR LES BIOAGRESSEURS FORESTIERS

- Ce modèle est le tout premier à quantifier le risque d'introduire un bioagresseur avec l'importation de bois
- Il permet de comparer les risques entre pays, entre différents scénarios de contrôle, ...
- La modélisation permet de prendre en compte l'ensemble des facteurs impliqués dans les invasions
- Elle permet d'identifier des données importantes qu'il manque (ex: efficacité de l'inspection, probabilité qu'un bioagresseur s'échappe du bois,....)

PERSPECTIVE 1: NOUVELLE GÉNÉRATION DE MODÈLES

- Modèle encore trop complexe pour être appliqué à de nombreuses espèces (pour lesquelles on a très peu de données)
- Des modèles statistiques semi-mécanistes vont être développés dans le cadre du projet européen HOMED (2018-2022), pour: (1) être plus opérationnels (moins de paramètres), (2) inclure l'effet de différentes méthodes de lutte pour évaluer la meilleure stratégie de réduction des risques, et (3) fournir une aide à la décision

PERSPECTIVE 2: APPLICATION AUX INVASIFS DE DEMAIN

- Ces modèles pourront être appliqués aux bioagresseurs retrouvés sur les arbres sentinelles (cf. présentation d' A. Roques) afin de quantifier le risque d'introduction en Europe, le risque d'établissement et d'expansion, ainsi que l'impact économique.

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Références:

- 1) Douma et al. (2015) Development of probabilistic models for quantitative pathway analysis of plant pests introduction for the EU territory. EFSA External Scientific Report
- 2) Douma et al. (2017) Development of a pathway model to assess the exposure of European pine trees to pine wood nematode via the trade of wood. *Ecological Applications*, 27: 769-785.
- 3) Douma et al. (2016) Pathway models for analyzing and managing the introduction of alien plant pests – an overview and categorization. *Ecological Modelling*, 339: 58-67.
- 4) Robinet C et al. (2016) Application of a wood pathway model to assess the effectiveness of options for reducing risk of entry of oak wilt into Europe. *Forestry*, 89: 456-472
- 5) Jactel et al. (2015) Demande d'avis sur la stratégie de lutte imposée par la décision d'exécution 2012/535/UE du 26 septembre 2012 relative à la mise en place de mesures d'urgence destinées à prévenir la propagation dans l'Union Européenne de *Bursaphelenchus xylophilus*. Rapport d'expertise collective, pp. 42.

Symposium international du le nématode du pin à Orléans, 9-13 mars 2020

christelle.robinet@inra.fr

EFSA: financement du
projet PPM-PIRATES
(2011-2015)

