

# Intensification durable

## des systèmes de production forestière

► Mercredi 3 décembre 2014



# Outils de simulation et d'évaluation des risques tempêtes pour les forêts : les progrès acquis dans les différentes disciplines

Céline Meredieu, Yves Brunet, Frédéric Danjon,

► Pauline Défossez, Sylvain Dupont,  
Kana Kamimura, Barry Gardiner

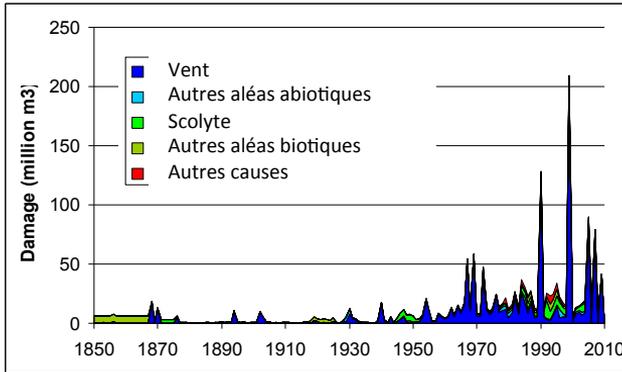
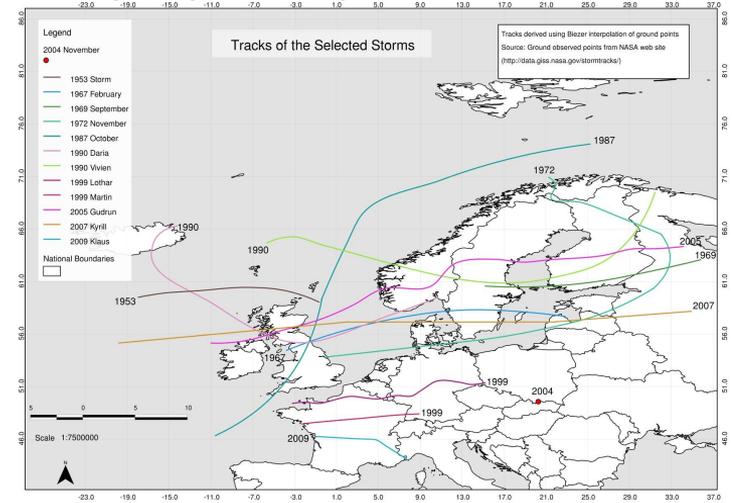
UMR BIOGECO  
UMR ISPA



# Introduction

- Les tempêtes sont caractérisées par des vents violents dont la vitesse moyenne est comprise entre 89 à 117 km/h avec des rafales de 110 à 150 km/h
- Les tempêtes hivernales sont un phénomène répandu en Europe
- Les conséquences sont brutales sur le territoire et pour la forêt c'est un facteur majeur de perturbation

## Tracé de quelques tempêtes entre 1953 et 2009



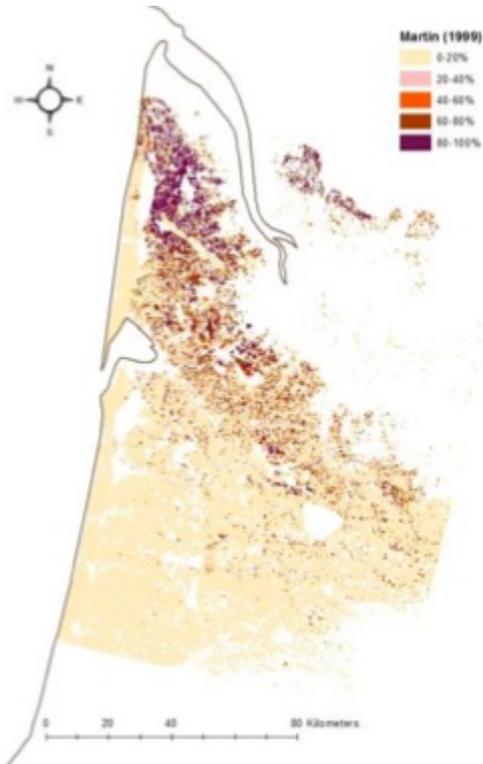
Gardiner et al. 2010

Gardiner et al. 2010

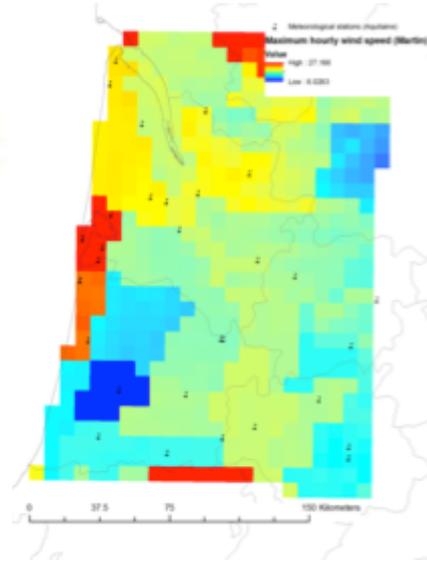


Forêts de production  
pertes économiques

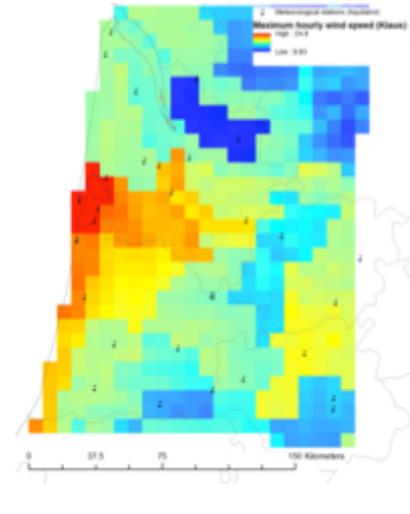
# Introduction : Les deux dernières tempêtes sur le massif landais



Tempête Martin (1999)  
perte de 24 millions de m<sup>3</sup> de pin maritime

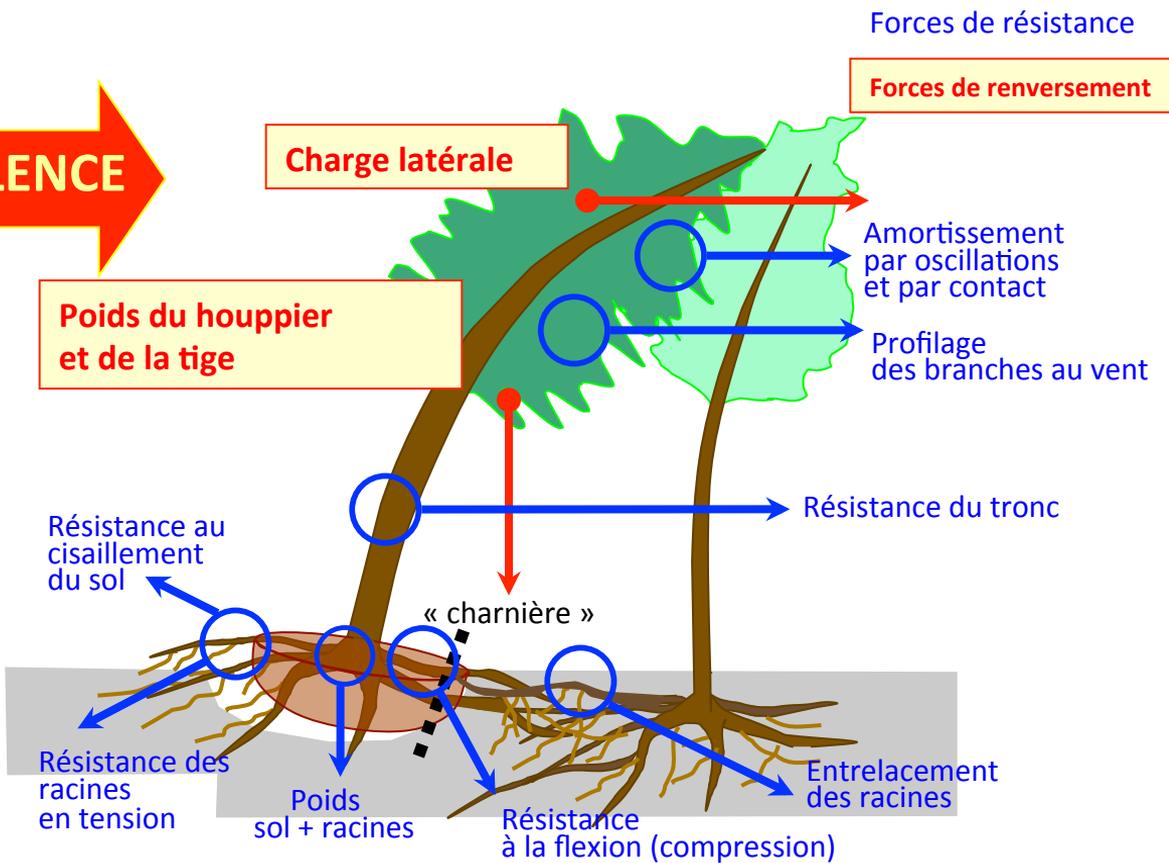


Tempête Klaus (2009) :  
perte de 43 millions de m<sup>3</sup> de pin maritime



# Introduction :

**VENT et TURBULENCE**



*Que se passe-t-il lors de la ruine d'un arbre par le vent?*

Cucchi, 2004

# Introduction :

Interactions vent-plantes en paysage hétérogène



Ancrage de l'arbre



Modèles de risque



# Partie 1 :

## Écoulement turbulent et interactions vent-plantes

### Interactions vent-plantes en paysage hétérogène

- Écoulement de lisière
- Fragmentation du paysage et écoulement
- Modélisation dynamique des plantes au vent
- Modélisation de la propagation des dégâts

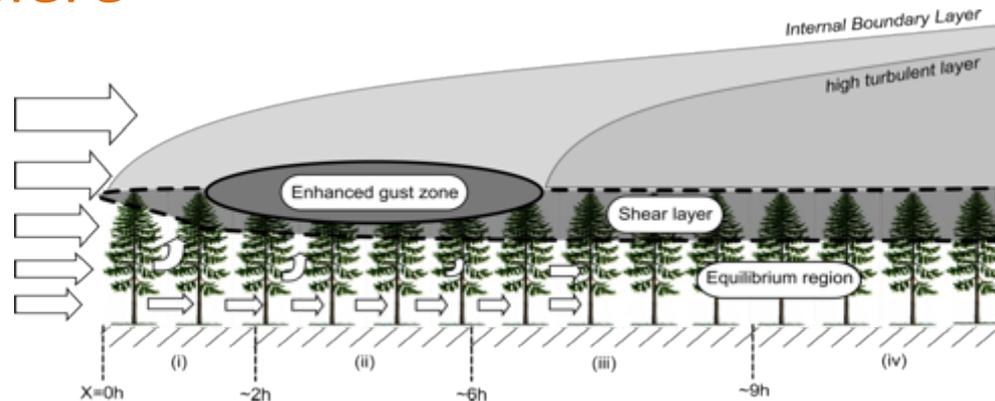


Photo : J.M.Carnus

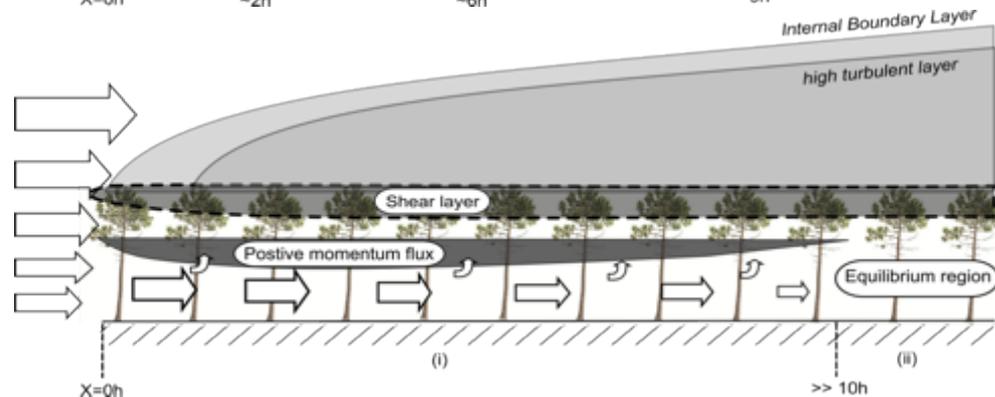
# Écoulement de lisière

Dupont et al. (2011, 2012)

Distribution  
foliaire verticale  
uniforme



Sous-bois  
important et  
peu dense



# Écoulement en paysage fragmenté

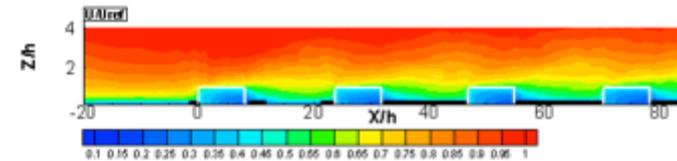
Thèse de C. Poette (en cours)

Photo d'une soufflerie (Australie)

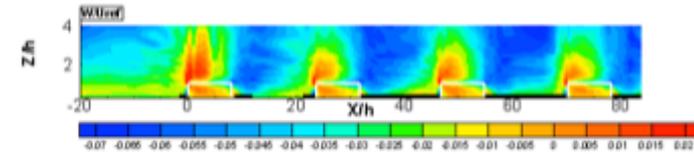


Mesures réalisées en soufflerie

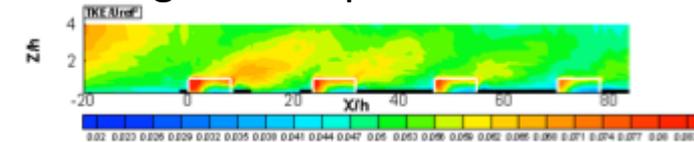
Vitesse de vent horizontale



Vitesse de vent verticale



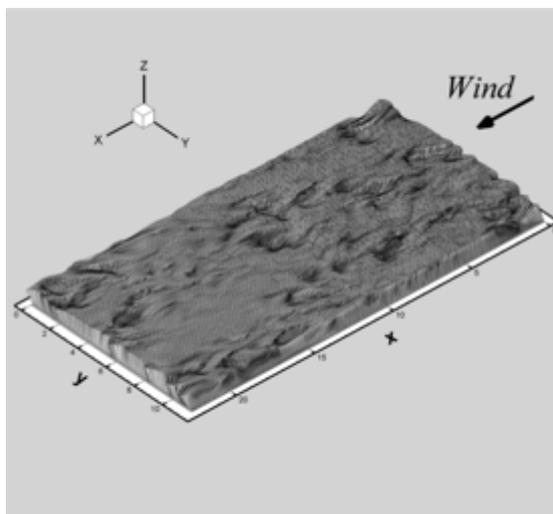
Energie cinétique turbulente



# Interaction vent-plante

## Mouvement d'une culture au vent

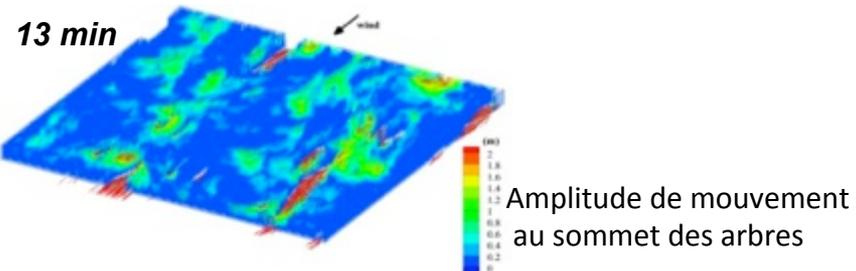
- Reproduction du phénomène de « vagues » se propageant à la surface des champs de céréales par vent fort



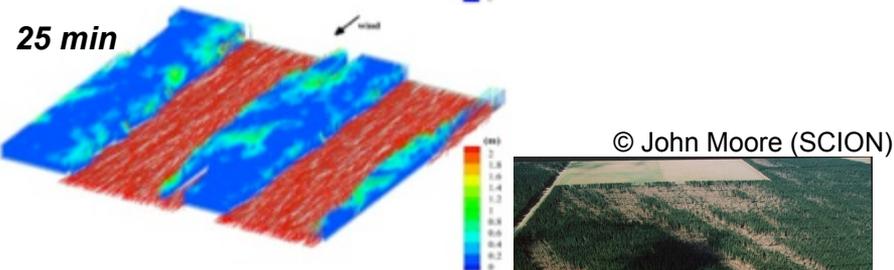
Dupont et al. (2010)



## Modélisation de la propagation des dégâts



Amplitude de mouvement au sommet des arbres



© John Moore (SCION)



Thèse D. Pivato (2014)

# PARTIE 2 :

## Une composante de la stabilité des arbres : le système racinaire et le sol

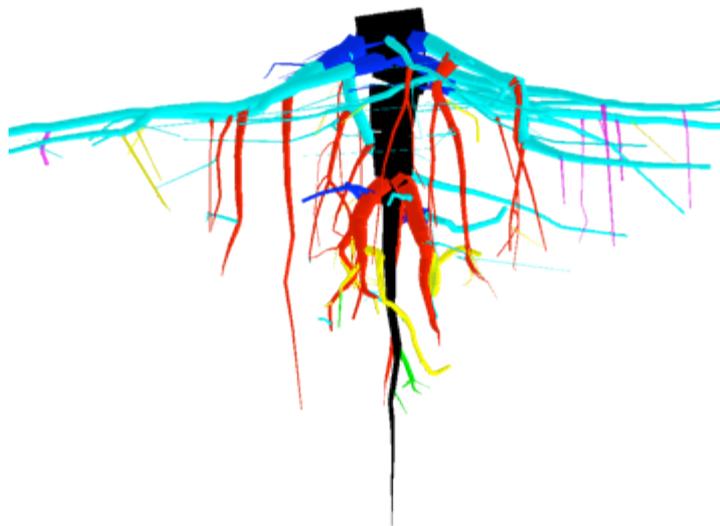


Approches pour l'étude de ce compartiment essentiel :

- **Analyse architecturale** selon les conditions de milieux
- **Analyse expérimentale** de la stabilité des arbres en fonction des caractéristiques des systèmes racinaires et des sols
- **Modélisation mécanique** de l'ancrage des arbres dans le sol

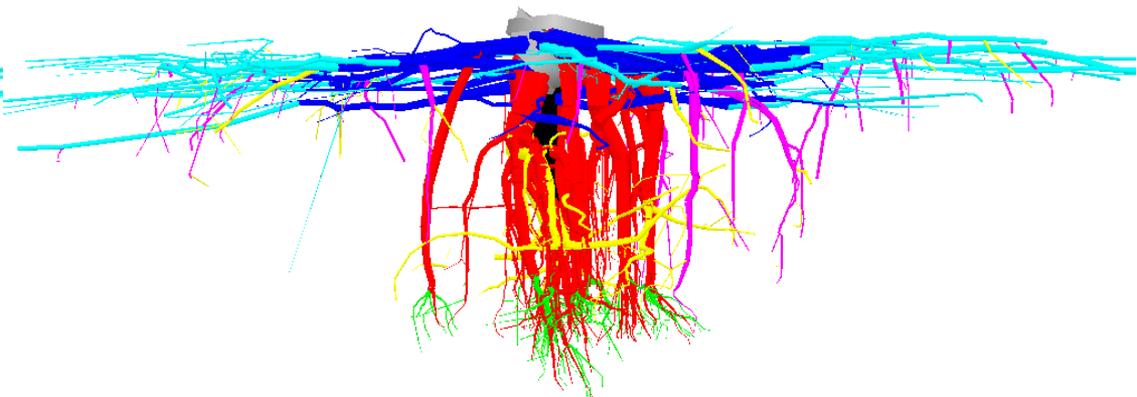
# Architecture racinaire et stabilité

- Acclimatation aux caractéristiques des sols



Système racinaire en lande sèche

Image Danjon

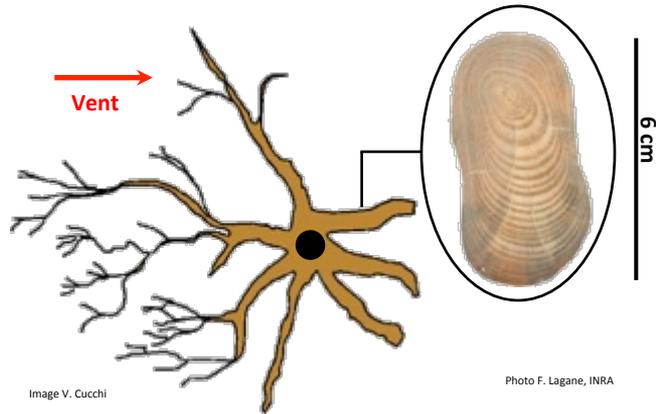


Système racinaire en lande humide

Image Danjon

# Architecture racinaire et stabilité

- Acclimatation aux sollicitations mécaniques



- Conséquences des traitements sylvicoles

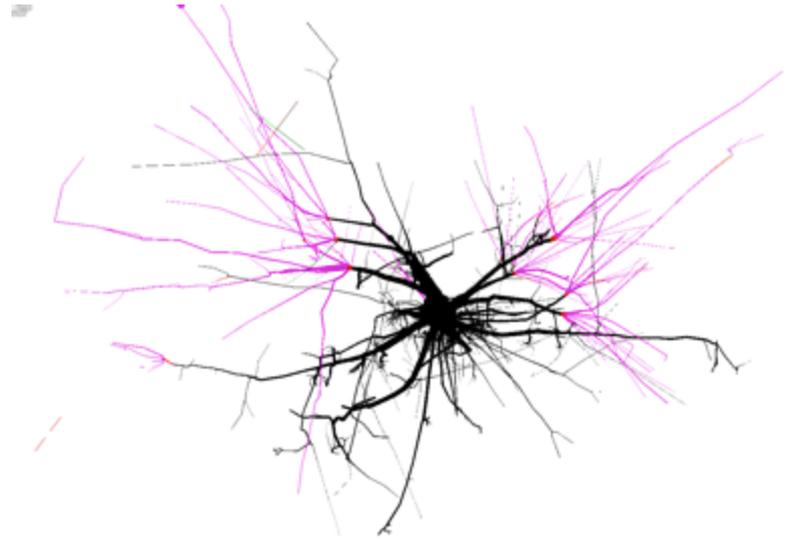
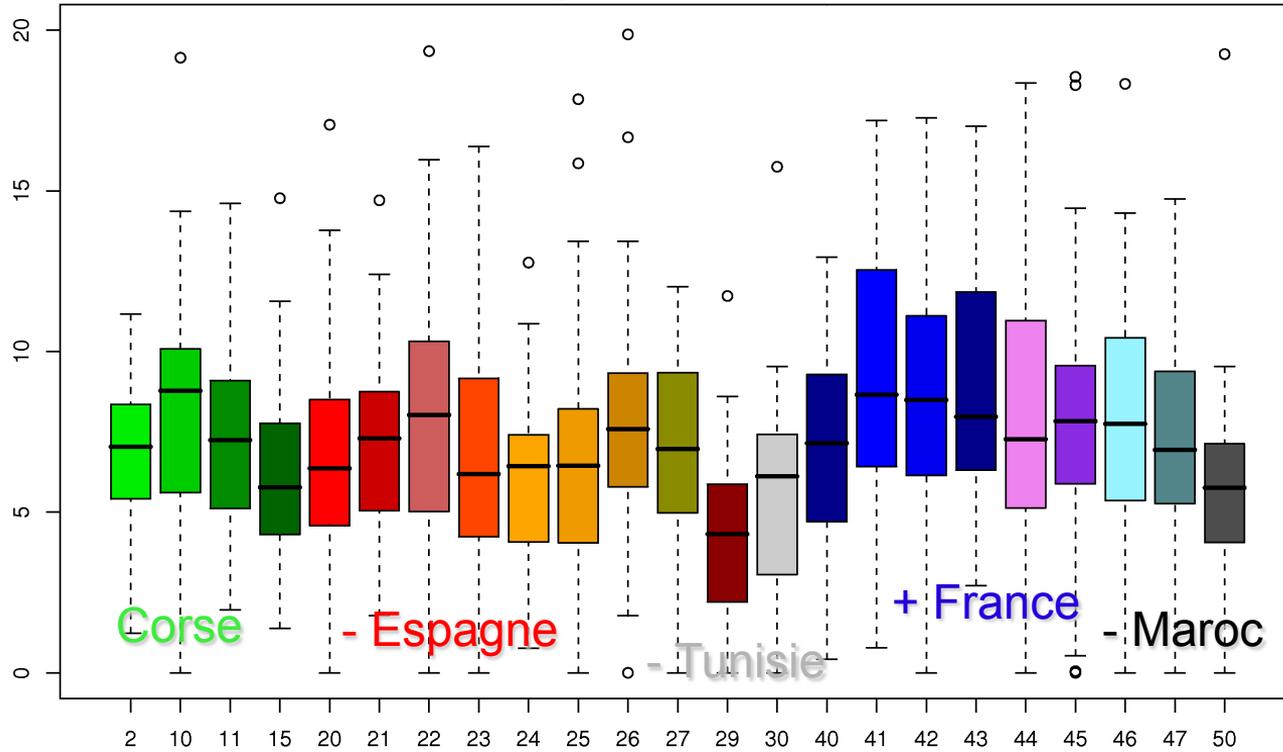


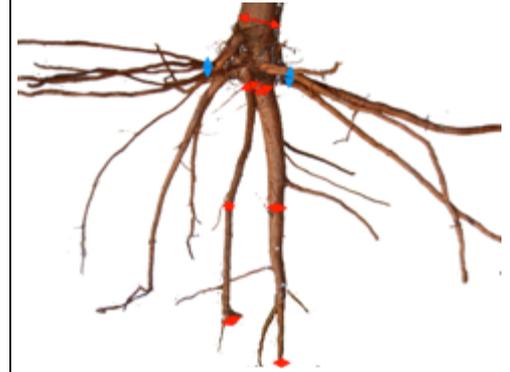
Image Danjon

# Architecture racinaire et stabilité

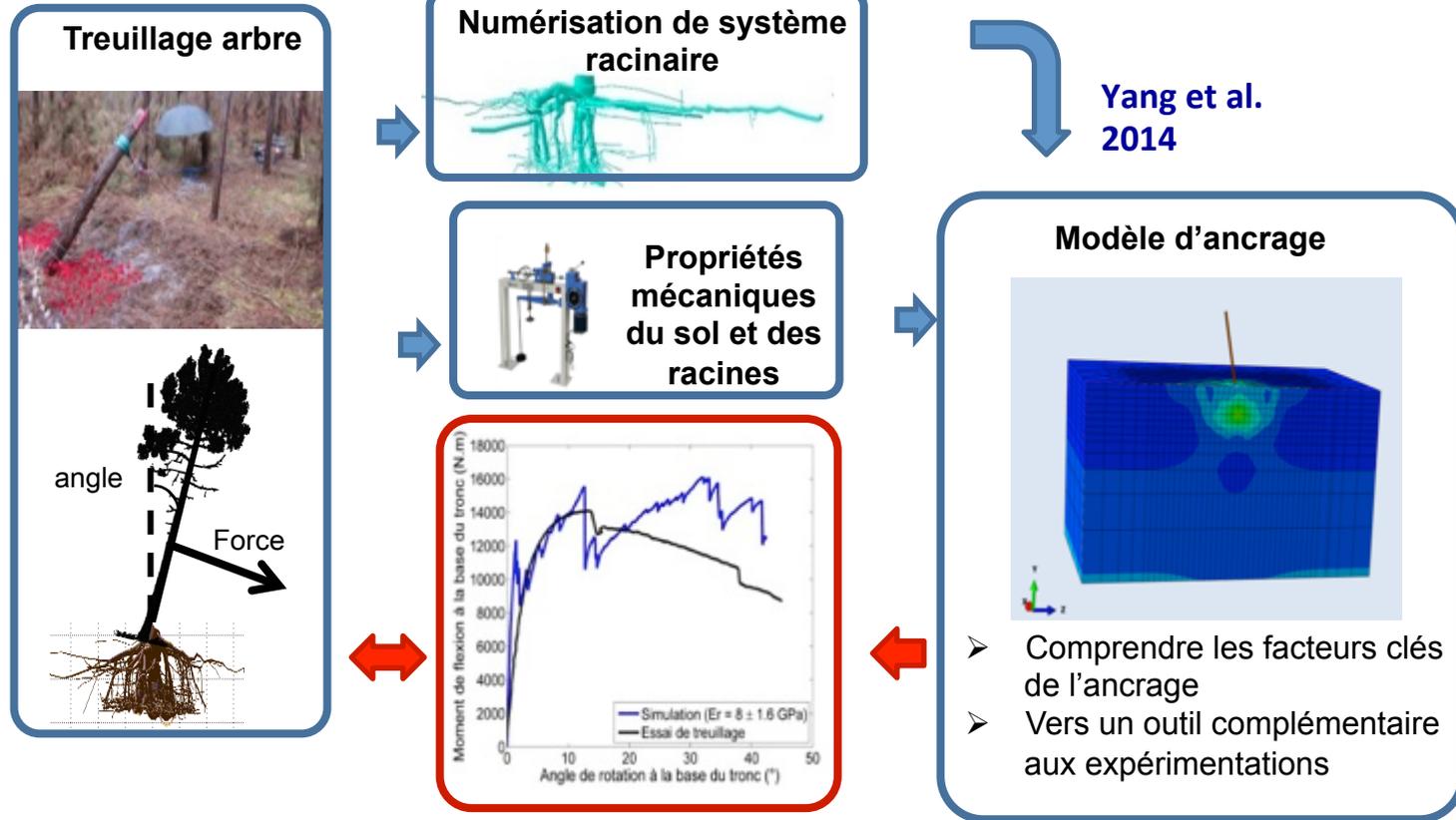
- Allocation de biomasse au pivot



Population\*\*\*\*



# De l'architecture racinaire au modèle d'ancrage



# Partie 3 : Des modèles de risque...

- Identifier les facteurs de vulnérabilité des arbres et des peuplements
- Synthétiser les informations
- Mettre à disposition des outils d'aide à la gestion des peuplements et des territoires



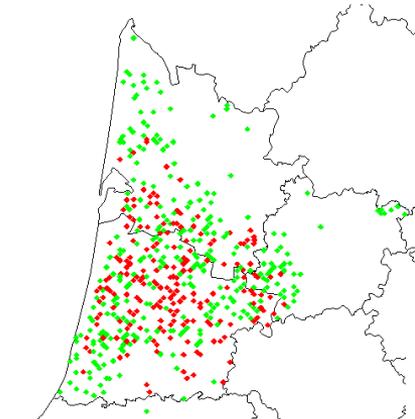
Photo : L. Severin

## Modèles de risque

- Analyse statistique de dégâts
- Modélisation mécaniste
- Couplage avec les modèles de croissance

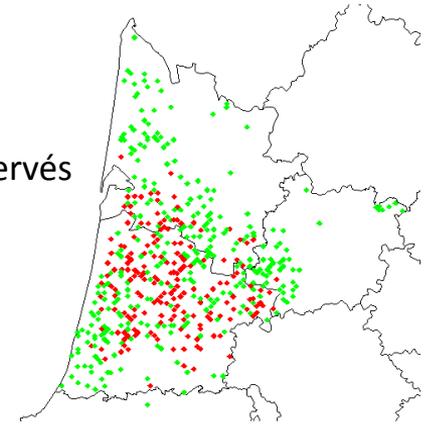
# Modélisation statistique des dégâts

- Régression logistique intégrant :
  - Variables liées à la structure du peuplement
  - Variables liées aux caractéristiques stationnelles
  - Variables liées au vent et à la turbulence
  - Effet abri au cours de la tempête
- Diversité des facteurs impliqués, faible impact de la gestion
- Force / Faiblesse
  - Identification des principaux facteurs de variabilité
  - Le modèle est dépendant du jeu de données
  - La prise en compte de certaines variables peuvent être améliorée



Taux de dégâts >40% observés

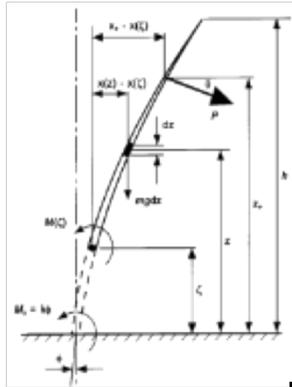
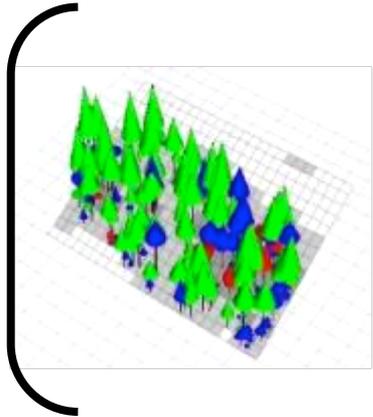
Belouard et al., 2013



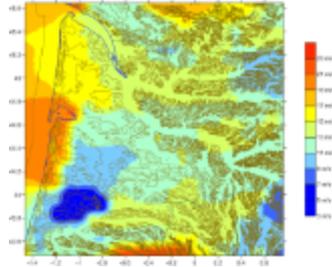
Taux de dégâts >40% modélisés

# Modélisation mécaniste des dégâts

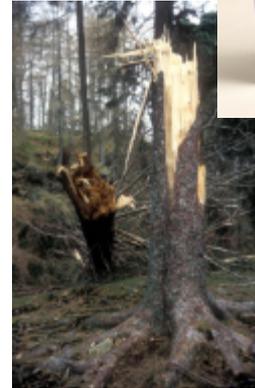
- Utilisation des principes de la mécanique afin de déterminer la charge de vent sur les arbres nécessaire aux dégâts
- Quantification de la vulnérabilité des peuplements grâce à une variable physique : la vitesse critique pour le déracinement ou la casse



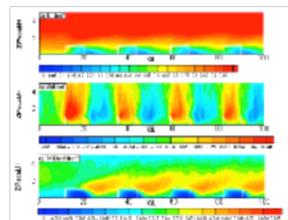
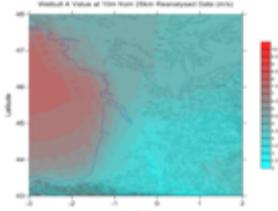
+



=



## Climat de vent

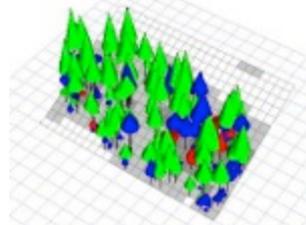


Écoulement dans des paysages hétérogènes

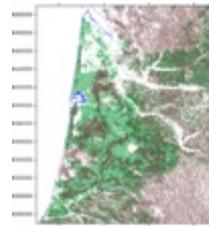


Modélisation de la dynamique du vent

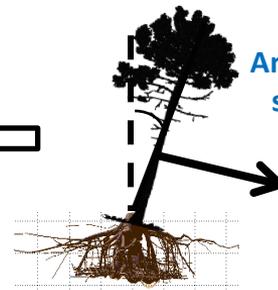
Modèles de croissance



Modèle de risque

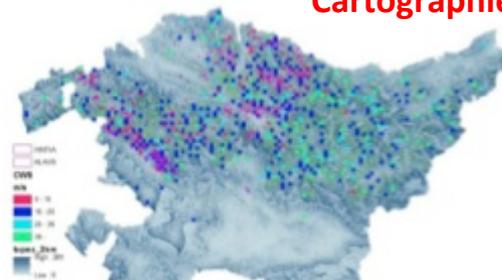


Inventaire forestier  
+  
Autres sources (Lidar...)  
+  
Cartes des coupes rases



Ancrage et stabilité

Cartographie du risque



# Conclusions



Photo : C. Orazio  
Klaus - Aquitaine

- Importance du développement des modèles
  - Nécessité pour les études fondamentales
  - Complémentaire à l'approche expérimentale
  - Indispensable quand l'expérimentation est impossible
  - Intégration des résultats
  - Passage aux grandes échelles : prise en compte du mitage de la forêt
- A quelles échelles faut-il étudier le risque lié au vent ?
  - A l'échelle de l'arbre : acclimatation, casse/chablis
  - A l'échelle du peuplement : aide à la gestion, impact des coupes, gestion de propriété
  - À l'échelle régionale : politique régionale de gestion des risques
  - A l'échelle européenne : politique forestière face au CC

# Perspectives

- Tempêtes et changement climatique
  - Évolution des aléas, intensification durable, prise en compte des risques
- Gestion de crise et modèle régionalisé
- Le vent : un défi pour la recherche avec de multiples applications
  - Effet des tempêtes
  - Acclimatation et croissance
  - Microclimat des canopées et leur fonctionnement
  - Dispersion des pollens et des pathogènes



Photo : D. Merzeau, CPFA

# Bibliographie

- Belouard T., Marchadier R., Merzeau D., Meredieu C., Brunet Y., Drouineau S., Paillassa E., Riou-Nivert P., 2012. Évaluation des facteurs de résistance au vent des peuplements de pin maritime après la tempête Klaus à l'aide des données de l'inventaire forestier. Rapport pour la Région Aquitaine, 77p.
- Colin A., Meredieu C., Labbé T., Bélouard T., 2010. Étude rétrospective et mise à jour de la ressource pin maritime du massif des Landes de Gascogne après la tempête Klaus. Convention MAAP / IFN n° E18 /2010. 39 pages.
- Cucchi V., 2004. Sensibilité au vent des peuplements de Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.). Analyse comparative de dégâts de tempête, étude expérimentale et modélisation de la résistance au déracinement. Université de Bordeaux I, (Bordeaux, France), 108 p.
- Dupont S., Bonnefond J.-M., Irvine M., Lamaud E., Brunet Y., 2011. Long-distance edge effects in a pine forest with a deep and sparse trunk space: in situ and numerical experiments. *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 328-344.
- Dupont S., Gosselin F., Py C., de Langre E., Hémon P., Brunet Y., 2010. Modelling waving crops using large-eddy simulation: comparison with experiments and a linear stability analysis. *Journal of Fluid Mechanics* 652, 5-44.
- Dupont S., Irvine M., Bonnefond J.-M., Lamaud E., Brunet Y., 2012. Turbulent structures in a pine forest with a deep and sparse trunk space: stand and edge regions. *Boundary-Layer Meteorology* 143, 309-336.
- Gardiner B., Blennow K., Carnus J.M., et al., 2010. *Destructive Storms in European Forests: Past and Forthcoming Impacts*. European Forest Institute - Atlantic European Regional Office, 2010. Report to European Union - DG Environnement.
- Pivato D., 2014. Les interactions vent-forêt en condition de tempête : un modèle couplé prenant en compte la rupture des arbres. Thèse de Doctorat, École Doctorale SDU2E, Toulouse, France, 121 p.
- Poëtte C., Gardiner B., Bohm M., Dupont S., Brunet Y., 2014. The influence of forest fragmentation on wind flow and the risk of wind damage. IUFRO 2014 Wind and Trees International Conference, Águas de São Pedro, São Paulo, Brazil, 3-8 August 2014.
- Yang M., Défossez P., Danjon F., Fourcaud T., 2014. Tree stability under wind: simulating uprooting with root breakage using a finite element method. *Annals of Botany* doi:10.1093/aob/mcu122