

# Sylviculture, aménagements et gestion du risque tempête en forêt

*Colin Francis*  
*UMR LerFob INRA-ENGREF Nancy*

avec la collaboration de :

Mohamed Najar, Isabelle Vinkler, Didier Bert, Véronique Cucchi, Jean-Pierre Renaud,  
Jean-Daniel Bontemps, François Lebourgeois, Jean-François Dhôte, Bernard Jabiol,  
Philippe Riou-Nivert, Jean-Christophe Hervé, Frédéric Danjon

*Colloque GIPECOFOR « Forêt, vent et risque » Paris 16-17 Mars 2005*

# Objectif de cet exposé

- Après une analyse des résultats récents obtenus dans les projets français notamment soutenus par le GIP ECOFOR,
- et des hypothèses les plus probables d'évolution des enjeux, des tempêtes et de certains facteurs de risque,
- avancer quelques propositions préliminaires de gestion du risque tempête,
- replacées dans les stratégies d'acceptation, évitement et mitigation.

# Sommaire

- I. Aléa, enjeux, risque : définitions, descriptions et quantifications
- II. Facteurs et variables de risque identifiés
- III. Evolution des enjeux, de l'aléa, de certains facteurs et variables de risque
- IV. Les situations à risque et propositions de gestion
- V. Outils d'aide à la décision : inventaire, opérationnalité, recherches à mener
- VI. Conclusion

# Partie I

**Aléa, enjeux, risque :**

**définitions, descriptions et  
quantifications**

# Vent, rafales et tempête

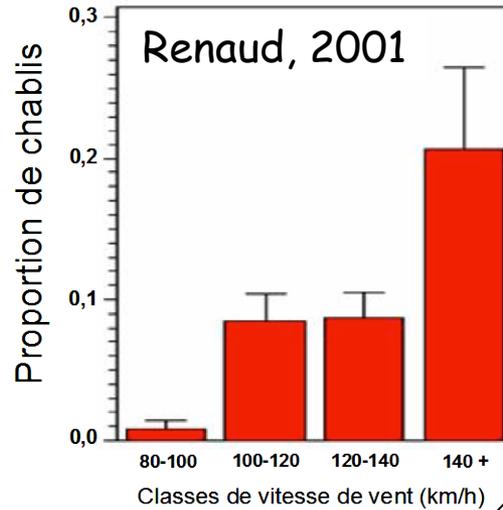
↑  
Fréq.

ACCLIMATATION

REPARATION

*BENEFIQUE*

*PREJUDICIABLE gestion forêts*



100 km/h  
Seuil des  
assureurs  
1<sup>ers</sup> chablis

Dégâts  
catastrophiques

Dégâts  
endémiques

V inst. (0,5s)

Gravité

# Acclimatation au vent

## Houppier :

- perte de feuillage, élagage des branches  
[Hedden et al., 1995 *P. taeda*, Putz et al 1983],
- « Streamlining » liée à la flexibilité des branches → diminution surface frontale  
*Douglas* [Mayhead, 1973 in Moore & Gardiner, 2001]
- capacité de réparation des structures endommagées (réitérations traumatiques)  
**mais fragilisation tout de même**

## Tige :

Croissance radiale, bois de réaction

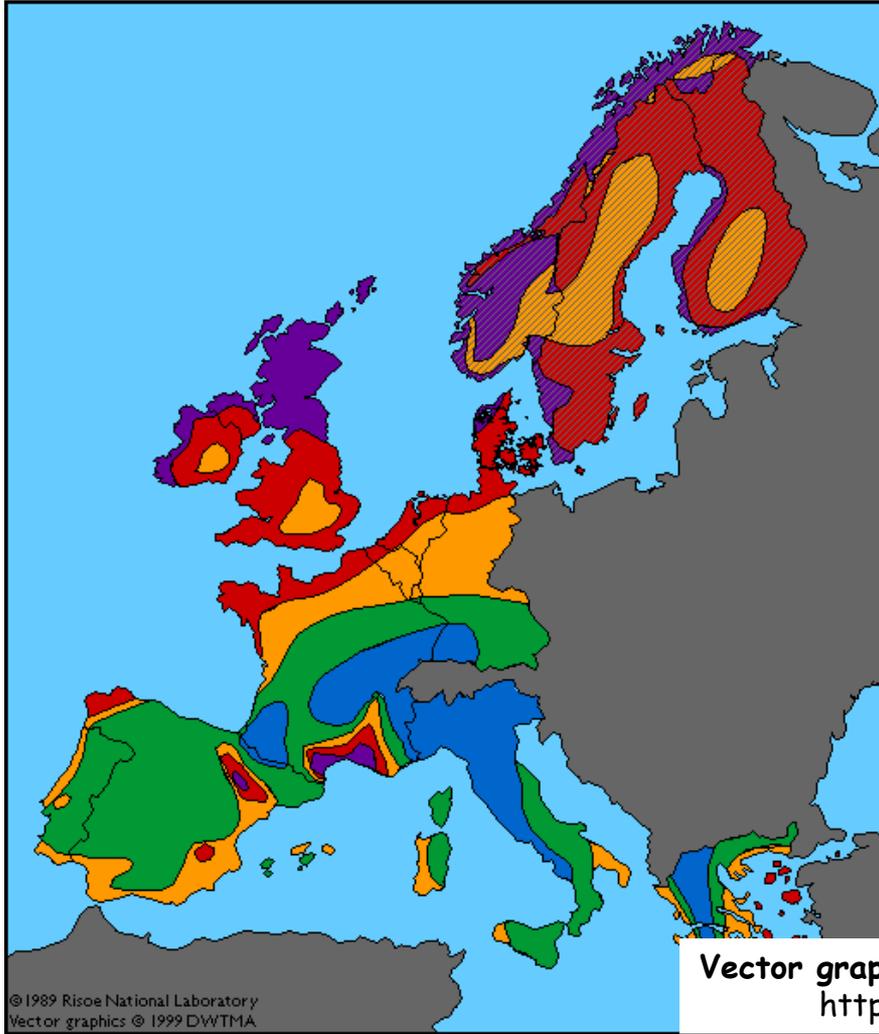
## Système racinaire (à combiner avec acclimatation au sol) :

+ grosses racines selon direction du vent et côté au vent pour supporter les tensions  
*(Pin Maritime)* (Stokes et al., 1997 ; Stokes et al., 1998)

Capacité de réparer les endommagements, casses (racines adventives)

Ex : Epicéa, Douglas OUI ; Pins NON → **important pour comprendre fragilisation progressive**

# Acclimatation au vent



*Liées à vent moyen  
( cf cartes des ressources éoliennes)*

En plaine "open plaine"

M/s

Energie : W/m<sup>2</sup>

>7.5

>500

6.5-7.5

300-500

5.5-6.5

200-300

4.5-5.5

100-200

<4.5

<100

Vector graphics map by courtesy of the Danish Wind Industry Association  
<http://www.windatlas.dk/Europe/EuropeanWindResource.html>

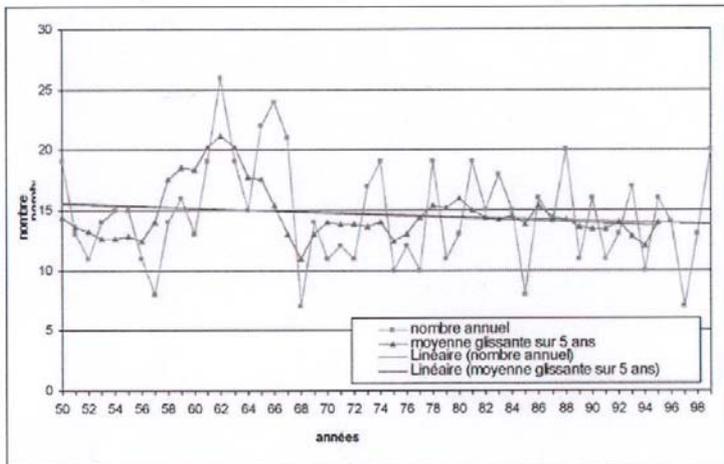
# Tempêtes et dégâts : fréquences

un aléa très fréquent (sur 5% des stations météo  $V > 100$  km/h) (in Dessemoulin & Devreton 2002) :

Courbe Riou-Nivert 2000 : des dégâts peu liés à fréquence des aléas

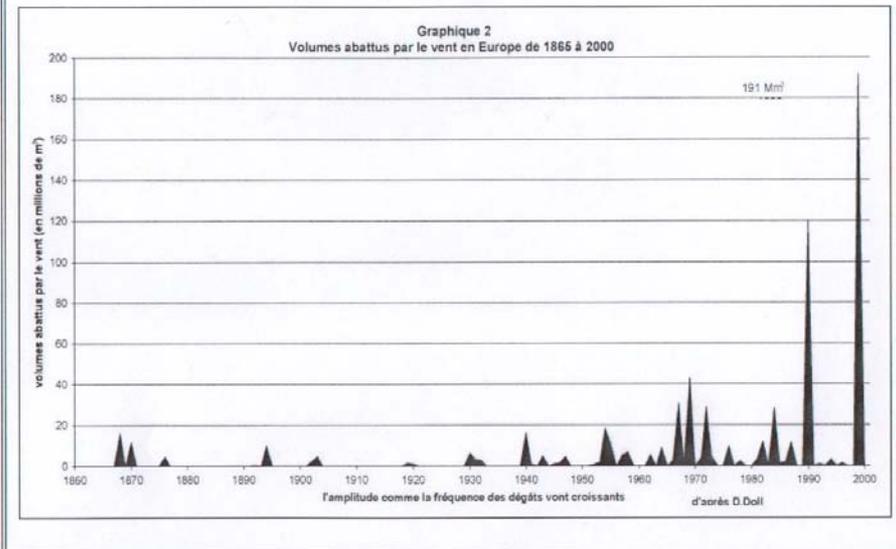
Nombre de tempêtes observées chaque année de 1950 à 1999 sur la France (réseau de stations constant).

Un changement de type de capteur a eu lieu en 1970.  
Contact : Christine Devreton.



Volumes de bois abattus par le vent en Europe de 1865 à 2000.

L'amplitude comme la fréquence des dégâts vont croissant.



*L'occurrence des vents de  $V > 100$  km/h n'est pas reliée à l'importance des dégâts*

# Diversité des tempêtes

## •Génèse

- Généralement issues de dépressions Atlantique Nord 45e parallèle MAIS AUTRES :
  - très forte tempête N Espagne et S-W France oct 1984 : née du cyclone Hortense
  - Tempête Bretagne 1987 : due à apports air chaud du Pacifique et des Caraïbes

## •Direction des vents de tempête par rapport aux vents "ordinaires"

6/8.11.1982 Massif Central : S-S-E (alors que normalement : W-S-W)

## •Vitesses maximales instantanées atteintes

3/4.2. 1990 : Cherbourg 167, Belle-Ile 162, Roissy 147  
Lothar 26 déc. 1999 : Orly >180

## •Période année (octobre à mars = tempêtes d'hiver)

- généralement tempêtes d'hiver MAIS EXCEPTIONS :
  - Landes: 7 juin 1987
  - Stasbourg : 6 juil 2001

**Tempêtes d'été localisées géographiquement**

## •Durée

Nov 1982 : 3j sur Massif Central

## •Cluster = groupe de plusieurs vents rapprochés

- Daria et Herta jan 1990 ; Vivian et Wiebke fev 1990 ;
- Esther, Désirée, Fanny et Hetty jan 1998 ; Lothar et Martin déc. 1999

# Evènements climatiques des jours précédents (facteurs aggravants)

## Quelques exemples :

Scandinavie : neige, givre

Forêt de Gérardmer 1957 (Polge 1960) : neige, givre

Lothar et Martin 1999 : sols détremés (sauf drainants)

6/8.11.1982 Massif Central : pas d'averse 10 j avant → sols secs

## Influence :

Charges supplémentaires dans le houppier

Gel et perte d'élasticité des troncs

Gel et prise en masse du sol → cohésion

Si sol humide : perte de cohésion entre racines et sol

# Temps de retour de l'aléa caractérisé par ses dégâts

## Différentes échelles de calcul

- planète
- Europe, zone d'activité d'un assureur
- pays
- région, bassin d'approvisionnement d'un industriel
- massif forestier
- gestionnaire, propriétaire

# Ex: Temps de retour

estimés par le modèle EuroWind de **Swiss Re**

Date	Nom	Zone touchée	Zone principale	Dommages assurés (milliards USD)	Période de retour (années)
2/3.1.1976	Capella	UK, NL, B, D	UK	1,2	<5
16.10.1987	87J	UK, F, NL	Manche	4,3	5
25.1.1990	Daria	Europe	F, D, UK	5,8	8-10
3/4.2.1990	Herta	F, D	Région parisienne	1,1	<5
26.2.1990	Vivian	UK, F, NL, B, D	Côtes de la Mer du Nord	3,4	<5
28.2.1990	Wiebke	D, CH, A	Sud de l'Allemagne	1	<5
21.1.1995		Europe du Nord		1,1	<5
3/4.12.1995	Anatol	DK, D, UK, SW	DK	1,5	<5
26.12.1999	Lothar	F, D, CH	Région parisienne	5,8 (F:4.4)	8-10 (F :70)
27.12.1999	Martin	F, CH	Bordelais	2,4 (F:2.3)	<5

# Temps de retour

## Echelle peuplement

Grande-Bretagne : 1 tempête sévère tous les 4-5 ans, 1 tempête exceptionnelle tous les 30 ans  
Quine, 2003 (conditions de G-B) : de forts vents interviennent tous les 5-30 ans

Un peuplement résineux récolté à 50 ans, aura à supporter au moins 1 ou 2 tempêtes d'importance (De Champs et al., 1983)

Schütz et al. 2004 (conditions de Suisse) : pour un « Lothar » tous les 15 ans, il faudrait 600 ans pour qu'un même peuplement soit « revisité »

# Enjeux de la gestion forestière

- Biodiversité
- Services récréatifs, cadre de vie
- Qualité des eaux
- Séquestration de carbone

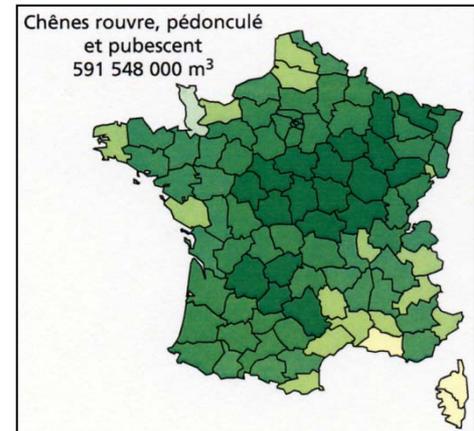
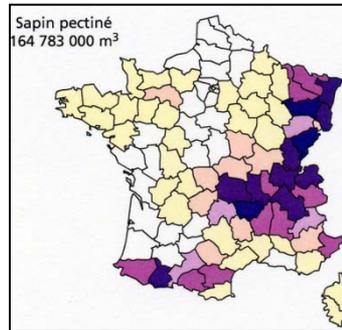
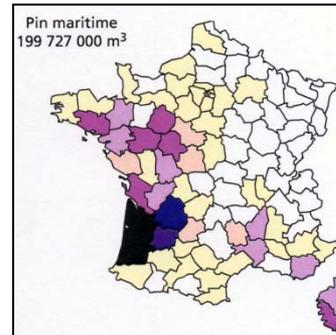
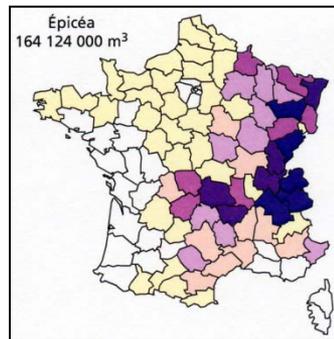
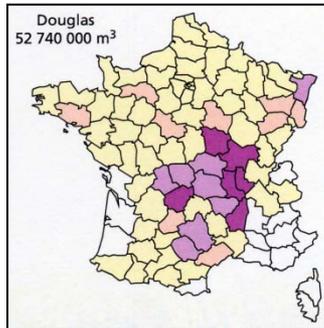
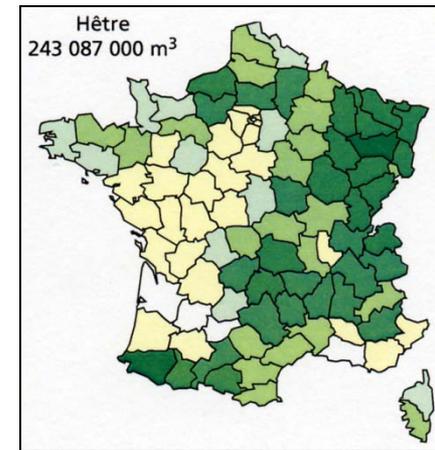
• Production de matière ligneuse (bien chiffrée)

Cet exposé

- Revenus monétaires pour propriétaires
- Prospérité de la filière forêt-bois
- Fréquentation et gestion profondes de la forêt

# Enjeux production de bois (IFN, 2004)

Volume sur pied par essence en 1 000 m <sup>3</sup> (IFN 1 <sup>er</sup> janvier 2004)			
	Domaniale	Communale	Privée
Chênes ses, ped, pub	75 600	93 200	<b>423 700</b>
Hêtre	59 900	80 100	103 000
Sapin-Epicéa	47 800	112 700	<b>182 600</b>
Pin maritime	10 200	7 500	<b>182 000</b>
Autres Pins	38 400	33 500	141 200
Douglas	3 700	5 600	<b>43 400</b>



# Définition du risque (GIP ECOFOR, 2001)

Perte attendue observée sur une entité physique ou biologique  
(peuplement ou massif forestier par exemple)

du fait d'un aléa donné,

pour une zone et une période de référence donnée

# Grands types d'étude du risque

Mécanistique (MECA), "process-based" :

*mesures des caractéristiques morphologiques et structurales  
liées au plus près des relations de cause à effet à l'échelle arbre, peuplement...*

Mécano-statistique (MESTA) : Ex.: essais de traction  
moment critique = f(variables dendro. disponibles )

"Empirique" - "Enquête" dans ressource - "statistique" (ER) :

taux dégâts = f(facteurs et variables)  
inter-peuplement surtout, intra-peuplement rarement

Cet exposé

*modèle logistique (Jalkanen & Mattila, 2000)*

*les "musts" : modèle logistique avec quasi-vraisemblance (Piton, 2002)*

*Objectif prédictif ou descriptif seulement ?*

Qualitative (QUAL) : observations peu chiffrées, "dires d'expert"

Modèles (MOD) intégratifs et prédictifs : ForestGales, Venfor,

# Variables "à expliquer"

**Le moment critique de casse** (échelle arbre) : étude type MESTA

**Le moment critique de retournement** (échelle arbre) : type MESTA

**Le dégât "arbre"** : 2 classes : indemne, volis+chablis [Piton, 2002 ; Bock et al., 2001]

**HYP. : les facteurs et variables de risque seraient les mêmes sur chablis et volis**

3 classes : indemne, volis, chablis [De Champs et al., 1983]

5 classes : droit, penché <20°, penché >20°, chablis, volis [Najar, 2002]

**Le taux de dégâts** (parcelle, placette, peuplement) : type ER

- effectif arbres endommagés / effectif total  
[De Champs et al., 1983 ; Renaud, 2001, 2002 ; Piton, 2002, en Gironde et Landes]
- effectifs dans chaque classe / effectifs totaux [Najar, 2001]
- $V$  arbres endommagés.ha<sup>-1</sup> /  $V$  totaux.ha<sup>-1</sup> [Piton, 2002, Ht Rhin]
- $V$  arbres endommagés.ha<sup>-1</sup> /  $V$  totaux actualisés.ha<sup>-1</sup> [Piton, 2002, Corrèze]
- Pourcentage de couvert détruit [Piton, 2002, Corrèze, Yonne...]  
par photo-interprétation; classes <10%, 10-50, 50-90, >90%  
**MAIS SOUS-ESTIME**

# Regret

Chablis et bris rarement comptabilisés séparément  
dans les taux de dégâts à l'échelle placeau, peuplement.

Pourtant, une comptabilisation séparée serait riche  
d'enseignements.

→ 1 exemple :

# Epicéas - Douglas - P. sylvestre bris - chablis

De Champs et al., 1983

Tempête nov 82 ; 3 jours ; Massif Central ; Vent S-S-E ; **Sols ressuyés**

Chablis / volis :

<i>Enquête systématique</i>	Douglas	Epicéa	Sylvestre
% moyen chablis	98	29	70

<i>Enquête ADELI</i>	Douglas	Epicéa	Sylvestre
% moyen chablis	80	47	35

*L'épicéa casse plutôt qu'il ne se renverse / sol ressuyé → Tige fragile ?*

*Le Douglas rompt davantage au niveau des racines → Racines fragiles ?*

*Confirmation de ces tendances lors de la tempête 1999 Douglas Massif Central  
[Angelier et François, 2004]*

# Les variables "explicatives"

$D_i$   
 $H_i$   
Volume "arbre"

} →  $H_g, H_{Lorey}, H_o,$   
 $H_g/D_g, H_o/D_g$   
 $CV(H_{Lorey})$

densité (actuelle)

Eclaircie : temps depuis l'éclaircie  
prélèvement =  $V_{abat}/V_{avant}$

Exposition :  
 $-\sin(2\pi \cdot expo \text{ grades}/400)$

profondeur enracinable

Essence

mélange d'essences

lisière/coeur

Proportion de lisières

Type peuplement  
régulier / irrégulier

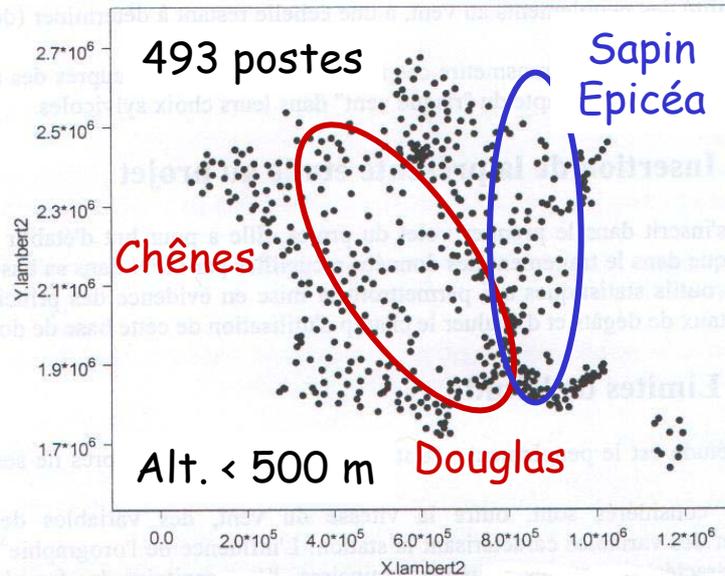
**Echelle  
arbre**

**Echelle placette  
peuplement**

# La variable "explicative" vent

Densité de postes météo. (Piton, 2002)  
et certaines ressources forestières

*Vitesses disponibles  
pour des postes  
situés à altitude < 500m*



*Vitesses non disponibles  
dans certaines régions où  
ressources forestières  
importantes*

Vitesse vent (variable peuplement) :

- valeurs simulées par krigeage (← Météo. F)
- indicateur d'intensité de tempête issu du lissage des taux de dégâts [Piton, 2002, P. maritime]

Schütz et al., 2004 : vitesse rafales  
excessivement variables

***Vent = mauvaise variable explic.***

# Significativité des variables

## Dépend :

- de leur disponibilité ;
- de leur implication effective dans le mécanisme ;
- de leur gamme de variabilité (CV%) ;
- de la pertinence de la forme mathématique du modèle ajusté ;
- de ce qu'elles synthétisent comme effets combinés  
(Ex: la hauteur dominante) ;
- de leur association avec d'autres facteurs (=facteurs aggravants, ex.: humidité des sols).

# Pour passer aux propositions sylvicoles et d'aménagement :

Sélectionner les facteurs « opérationnels »

- = pas forcément les plus significatifs statistiquement (mais significatifs quand même) ;
- = pas forcément les facteurs qui sont reliés fonctionnellement ;
- = sur lesquels la sylviculture, l'aménagement peuvent « jouer » ;
- = ceux que les sylviculteurs et aménageurs connaissent et maîtrisent ;
- = ne pas se priver du « bon sens », du « doigté » sylvicole.

# Stratégies de gestion du risque

## Acceptation dans les cas où :

Idée que tempêtes imprévisibles, "rares", temps de retour élevé à l'échelle "parcelle"

OU au moins un des enjeux n'est pas (plus) crucial

OU il est difficile économiquement d'intervenir

OUI il est trop tard pour intervenir "on verra bien"

==> on essaie d'arriver au terme de la révolution sans mettre en œuvre de mesures sylvicole et d'aménagement particulières

Exemple : pessières de montagne difficilement accessibles,  
pessières âgées de plaine qui ont mauvaise presse,  
situations particulièrement hydromorphes.

# Stratégies de gestion du risque

## Evitement dans les cas où :

Idée que les tempêtes remettent en cause trop fortement la rentabilité

==> on ne met pas, là où le risque est important, les productions les plus rémunératrices

OU à certains stades de développement, on évite d'intervenir

→ intervenir plus tôt

Exemple : abandon de l'idée de reforestation sur tourbières en Irlande

# Stratégies de gestion du risque

Mitigation dans les cas où :

Idée qu'un risque non négligeable, insupportable, existe

==> on met en œuvre toutes les mesures sylvicoles économiquement acceptables permettant de réduire la vulnérabilité

# Partie II

Facteurs et variables de  
risque identifiés

# Le vent

“Le vent” est statistiquement significatif dans pratiquement toutes les études malgré qu’il soit connu avec **beaucoup** d’erreur [par exemple Bock et al, 2002].

Et les rafales seront longtemps encore très mal mesurées et leur apparition et distribution sont des phénomènes chaotiques (Schütz et al., 2004)

A VOIR ! (cf exposé Y. Brunet)

# La hauteur dominante

"Synthétise" plusieurs effets :

fertilité,  
âge,  
faiblesses mécaniques croissantes avec l'âge (attaques pathogènes),  
le caractère régulier/irrégulier,  
la "prise" au vent,  
les possibilités d'oscillation des houppiers

Statistiquement clairement significative dans toutes les études sauf pour P. sylvestre

Bonne variable synthétique mais la sylviculture est réputée peu l'influencer

*Dans la plupart des études, à partir des  $H_0$ , propositions de  $H_{seuil}$  à partir de la(les)quelle(s) les risques augmentent.*

# Hauteur dominante et $H_{\text{seuil}}$

## Résineux

**Sapin Epicéa** [Piton, 2002, **Haut Rhin**, 1029 parcelles]

- <12m : peuplements très stables → mitigation : il faut profiter pour éclaircir
- 12-25 m : instable, éclaircie récente déstabilise → évitement : éviter d'éclaircir
- >25 m : instable, éclairci ou non → acceptation : il est trop tard, accepter le risque

**Sapin Franche-Comté et Massif Central 415 parcelles** [Angelier & François, 2004]

- > 27,5 m dégâts > 20% → instabilité, stratégie d'acceptation du risque

Schütz et al., 2004 :  $H_{\text{seuil}}$  impossible à repérer sur Epicéa en Suisse

**Douglas Massif Central 69 parcelles** [Angelier & François, 2004]

- > 28 m dégâts forts

**Pin sylvestre** : PAS D'EFFET DE  $H_o$  [Piton, 2002, **Haut Rhin**, 83 placettes]

**P. maritime** [Piton, 2002, **Gironde+Landes**, 2195 placettes] :

pas de propositions

# Hauteur dominante et $H_{\text{seuil}}$

## Feuillus

**Chêne** : [Piton, 2002, **Haut Rhin**] PAS D'EFFET de  $H_0$  mis en évidence

[Piton, 2002, Yonne, 720 placettes] [ **$H_0$  significatif**]

> 30 m si vent fort : risques

**Hêtre** [Piton, 2002, **Haut Rhin**, 192 placettes IFN] ( **$H_0$  significatif**) :

- <22m : peuplements stables → mitigation : il faut profiter pour éclaircir
- 22-35 m : certaine instabilité → évitement : risques en éclaircissant
- >35 m : condamné en cas fort coup de vent → accepter le risque

**Hêtre** [Bock et al. 2002 145 parcelles **Lorraine**] :

- > 23,5m → instable

**Hêtre**  $H_{\text{seuil}}$  impossible à repérer en Suisse [Schütz et al., 2004]

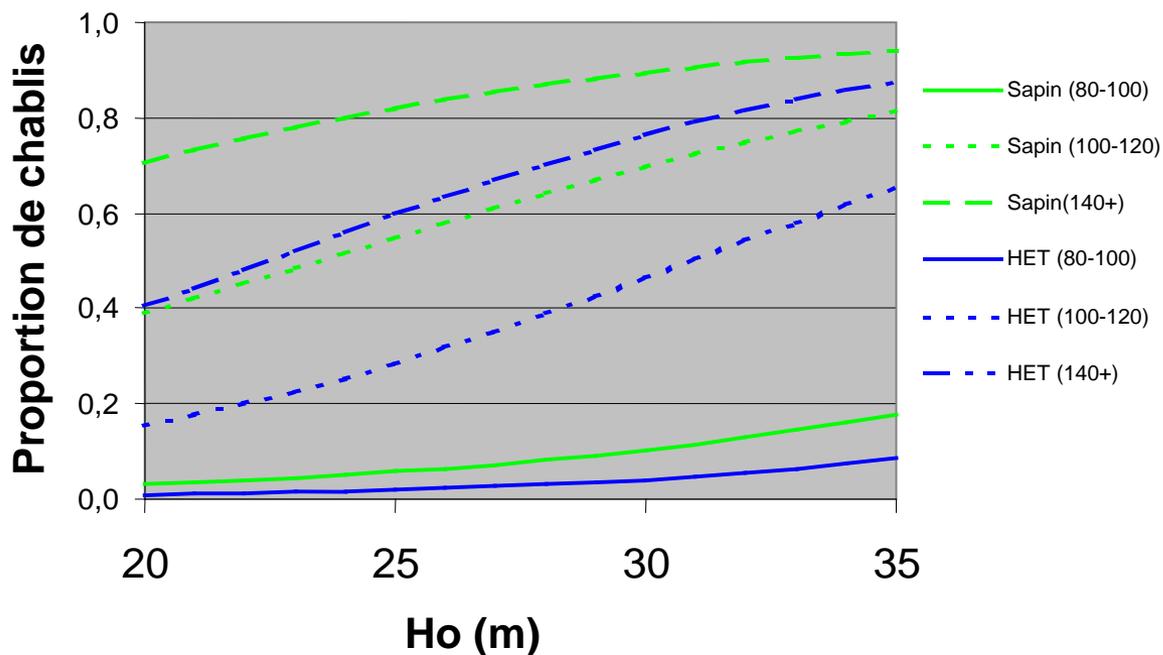
# La hauteur dominante

En complément des propositions de  $H_{seuil}$ , les 3 études abondamment citées : [Renaud, 2001, 2002 ; Bock et al. 2001 ; Piton, 2002] ont donné des modèles d'ajustement logistique, susceptibles (??) d'être utilisés à des fins prédictives.

Exemple : Renaud J.P, 2002.

réseau européen santé des forêts

45 placettes Hêtre, 22 placettes Sapin



**Attention** à la quantification des risques de dégâts en fonction de la hauteur dominante : les situations rencontrées et bien quantifiées jusqu'à présent sont très particulières (sols très humides, rafales probablement très fortes)

→ on pourrait être trop pessimiste !

# Topographie et exposition

**Attention : les expositions, favorables ou non, dépendent de la direction du vent de la tempête. En 1999 : Ouest-Sud Ouest dans la majorité des régions.**

**Sapin-Epicéa** [Piton, 2002, **Haut Rhin**, 1029 placettes] :

Exposition Est significativement favorable,  
**Ouest aggravante**

**Pin sylvestre** PAS D'EFFET

**Chênes** [Ht Rhin et Yonne (720 placettes)] PAS D'EFFET

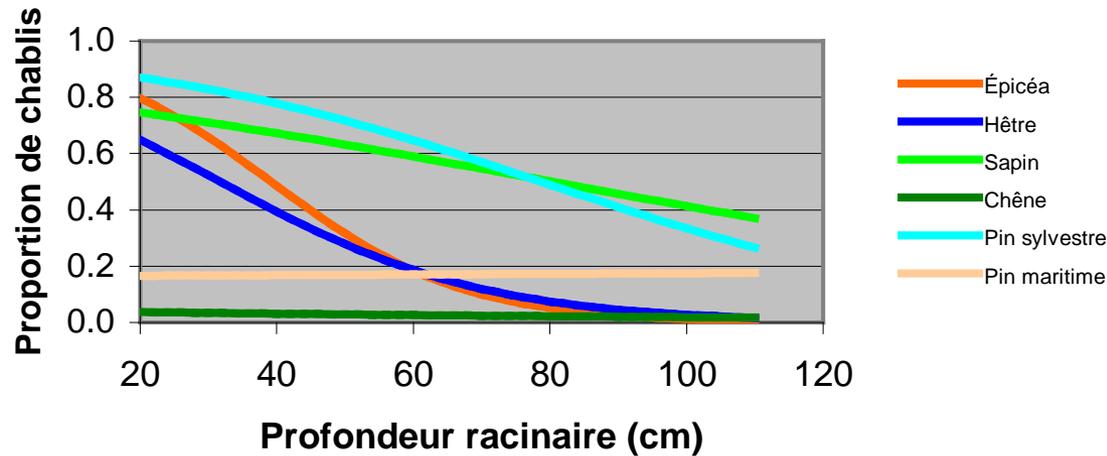
**Pin maritime** : [Piton, 2002, Gironde+Landes, 2195 placettes] PAS D'EFFET

Renaud, 2001 : **pas net**

**Douglas et Sapin** Massif Central et Franche-Comté **484 parcelles** [Angelier & François, 2004]

Sapin PAS D'EFFET , Douglas : **exposition protectrice NE**

# Sol et profondeur enracinable



*Renaud, 2001  
Tempêtes 1999*

Vent 120-140 km/h,  
Ho 30 m, Ho/D 0,7

Chêne et Pin maritime s'accommodent parfaitement de la contrainte  
[avec chablis toujours très faibles pour Chênes]

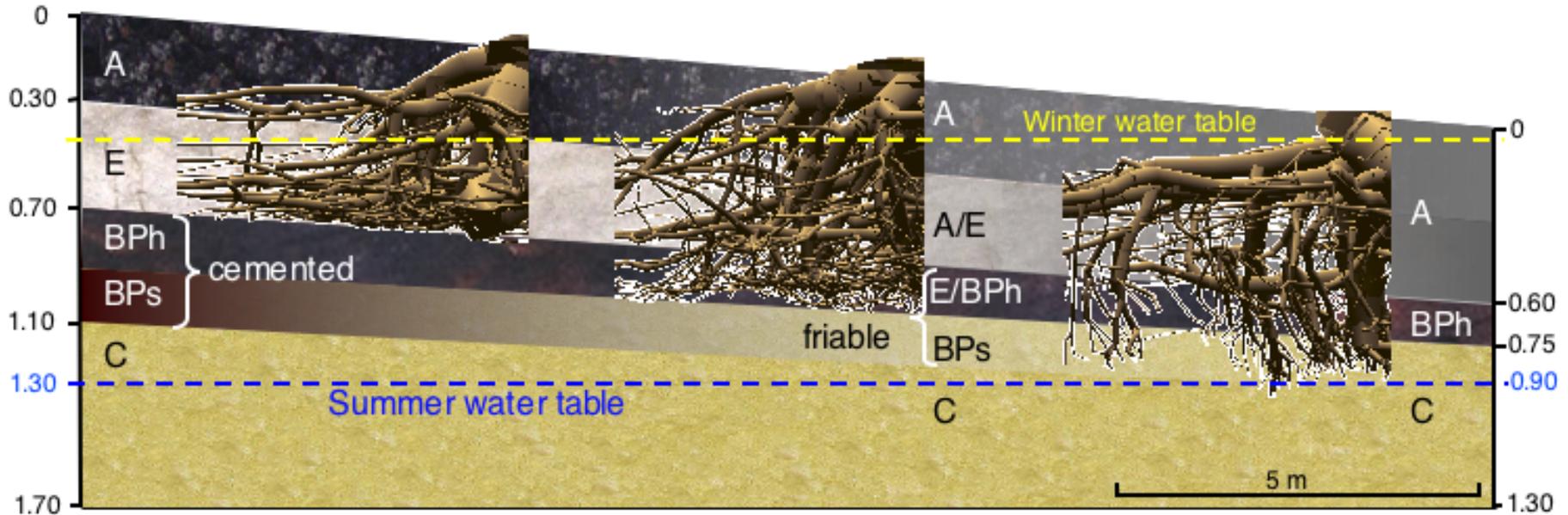
Pin maritime (cf acclimatation à l'alias)

Hêtre, Épicéa très sensibles  
[avec chablis moindres que P. maritime pour profondeur > 60 cm]

Sapin, P.sylvestre comportement intermédiaire.

Bock et al, 2002 Hêtre 145 + 40 futaies régulières + 38 TSH : **effet égal<sup>†</sup> significatif**

# Acclimatation du Pin maritime à l'alias *(Danjon et al., 2005, travaux en cours)*

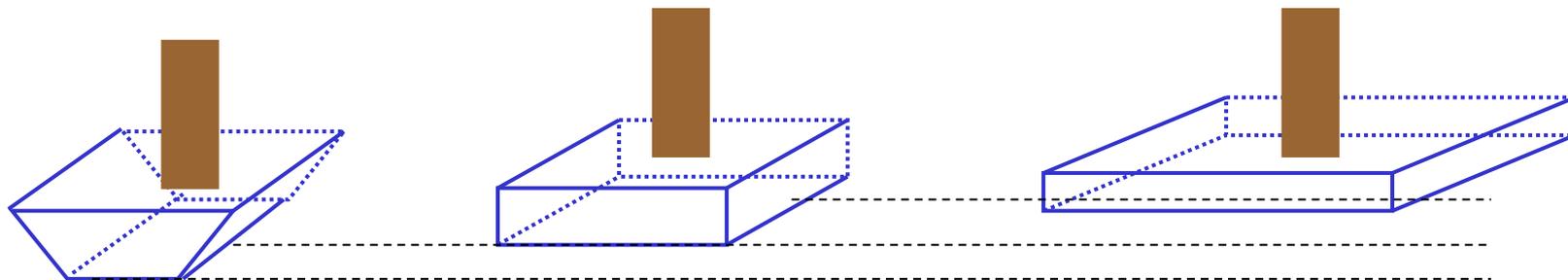


Le pin s'acclimate à la profondeur de sol disponible : le *P. maritime* construit une "cage" formée par la partie épaissie des racines horizontales, le pivot et les nombreuses pivots secondaire, et des racines profondes qui développent au contact de l'alias un bouclier de racines fines.

La stabilité n'est pas reliée à la profondeur si alios à 0,5-1m : l'alias profond (80 cm) permet aux pins de s'appuyer sur du dur, contrairement à ce qui se passerait en l'absence d'alias avec seulement une nappe phréatique haute.

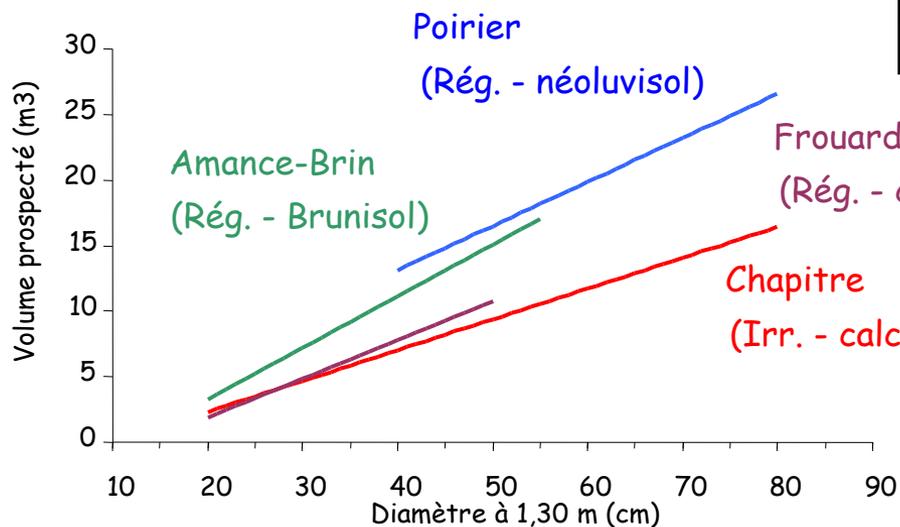
# "Sensibilité - Acclimatation" du Hêtre

(Lebourgeois et al., 2004)



--- contrainte à la prospection verticale +++

Poirier



---  
contrainte  
+++

Chapitre

# Sols forestiers

- On ne choisit pas ses ...sols forestiers  
[Badeau et al, 1999] : davantage de sols bruns, sols hydromorphes et sols podzolisés  
→ **sols contraignants**
- Sols hydromorphes  
→ **stratégie d'évitement (pas d'efforts sylvicoles) ou au contraire mitigation (drainage, billons) (cf Lévy & Lefèvre 2001) mais Pb des moyens**
- Les essences forestières s'y acclimatent plus ou moins  
→ **évitement : adéquation sol - espèce**
- Les sols ne sont déjà pas bons, il ne faudrait pas les dégrader (mécanisation à surveiller)  
→ **préventif**
- Certaines essences seraient davantage sensibles que d'autres à la compaction (Ex: Hêtre beaucoup plus sensible que le Chêne)  
→ **préventif différencié**

# Variations intra-peuplement des hauteurs, des $D_{130}$ , des Long. houppier

**Chêne** [Piton, 2002, Yonne, 720 placettes IFN,  $CV(H_{Lorey})$ ]

$H_{Lorey}$  est une hauteur pondérée par surface terrière, qui donne moins de poids aux faibles DHP.

Les types de structure ont été replacées dans les gammes de  $CV(H_{Lorey})$  et  $CV(D_{Lorey})$

$CV(H_{Lorey})$  : gamme [0% - 40%]

$CV(D_{Lorey})$  : gamme [0% - 90 %]

IFN : Taillis simple

Futaie régulière

Mélange Futaie/Taillis

Futaie irrégulière

Résultats :

$CV(H_{Lorey})$  est bien significatif

$CV(D_{Lorey})$  est égal<sup>†</sup> significatif, dans une moindre mesure.

# Variations intra-peuplement des hauteurs, des DHP, des Long. houppier

**Pin maritime** [Cucchi & Bert, 2003, Dispositif St Albans, 51 ans, 8 modalités, 6 répétitions]

$ET_{Ho}$  : écart-type de la hauteur des arbres dominants

$ET_{Lh}$  : écart-type de la longueur des houppiers

$ET_{Ho}$  variable la plus corrélée à taux de chablis ( $R=0,61$ ).

Ensuite  $ET_{Lh}$  ( $R=0,57$ ).

Tester ces variables sur les peuplements Epicéa, Sapin, Douglas...

# Régulier / irrégulier

Dhôte 2005 "Implication of Forest Diversity in Resistance to Strong Winds":

"Il n'y a pas de nette amélioration de la stabilité d'un arbre  
dans des mélanges mono-strates ou  
dans des canopées complexes, non équiennes,  
par comparaison avec des monocultures équiennes.

Pour la résistance au vent, l'espèce importe davantage  
que la richesse en ligneux ou la diversité structurale de la forêt".

# Régulier / irrégulier

Bock et al., 2002. Hêtre Lorraine, 38 placettes TSF, 40 placettes futaie régulière (FR)  
Pour vent > 140 km/h

En prenant  $H_{\text{seuilcommun}}$  à 23,5 m

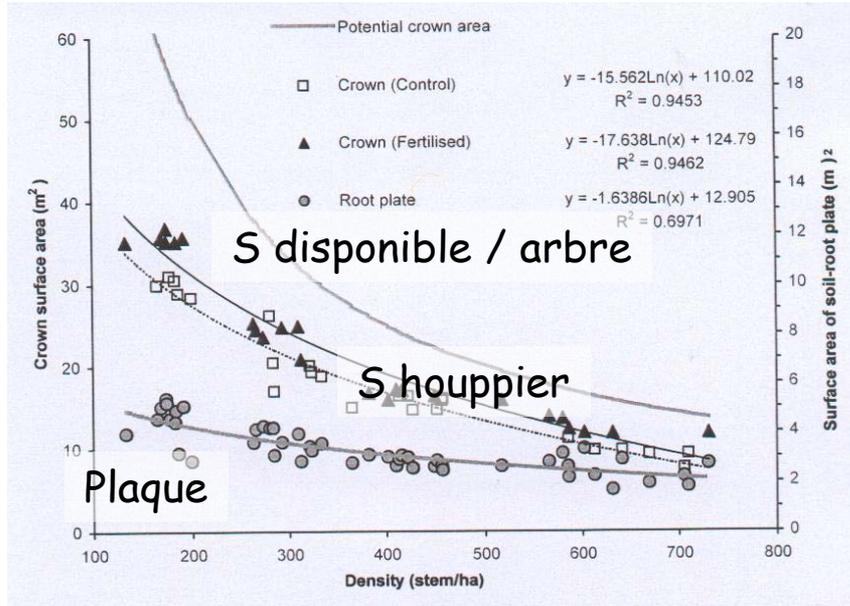
En dessous de  $H_{\text{seuilcommun}}$ , TSF 2 fois plus touchées que FR  
Au dessus, FR davantage touché (car  $H_0$  plus forte)

Pour interpréter, considérer :

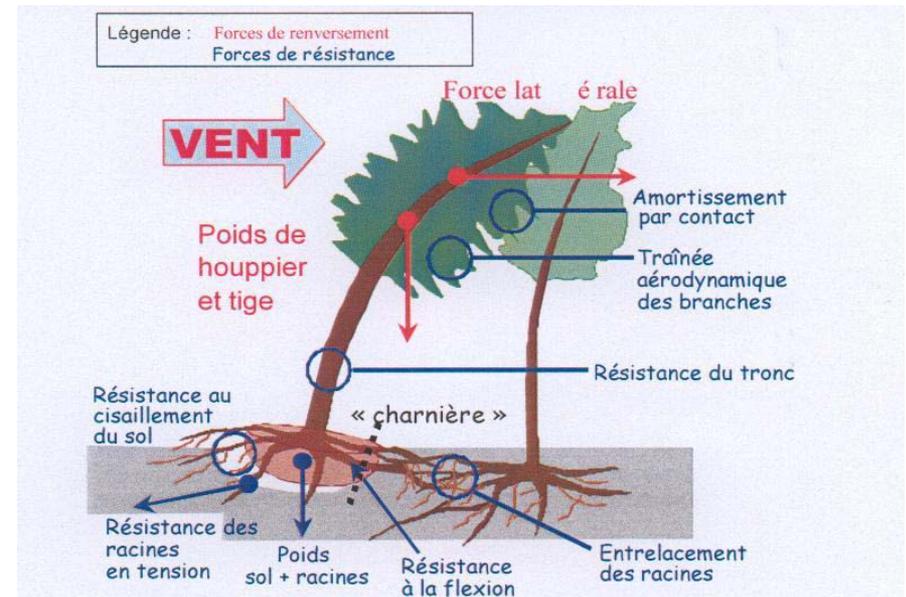
petits TSF en dessous  $H_{\text{seuilcom}}$  plutôt sur sols superficiels  
et TSF au dessus  $H_{\text{seuilcom}}$  plutôt sur sols profonds (→ plus stables)

# Cohésion de la structuration peuplement

Cucchi & Bert, 2003 Pin maritime



in Najjar, 2002, Pin maritime



## Quand la densité diminue

le vent pénètre davantage dans la canopée, l'amortissement des houppiers est diminué.

Ils sont davantage soumis à leur poids.

L'enchevêtrement racinaire disparaît et ne permet plus de consolider l'ancrage.  
→ Importance de la résistance individuelle

# Arbres lisière - arbres du centre

*De Champs et al., 1983*

Tempête nov 82 ; 3 jours ; Massif Central ;  
Vent S-S-E ; Sols ressuyés

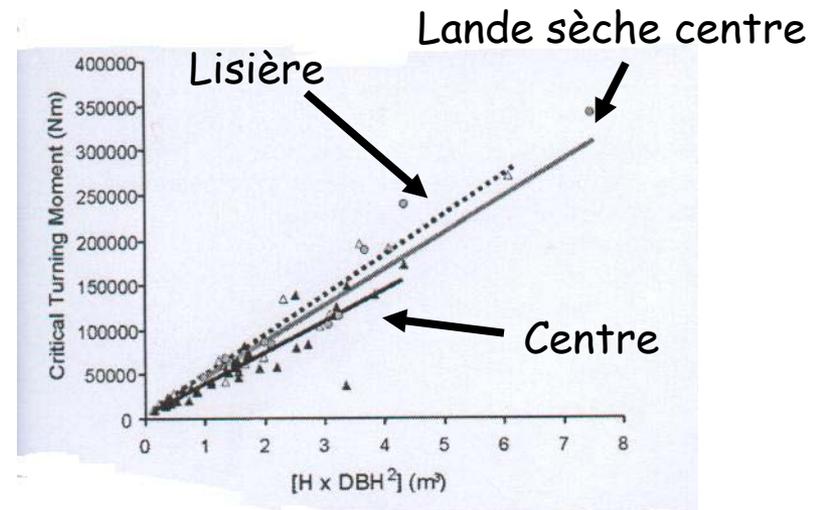
	Douglas	Epicéa	Sylvestre
Peuplements	18	51	39
TD lisière %	2	9	11
TD centre %	4	18	16

TD = taux « chablis+volis »

→ *Les arbres de lisière tiennent mieux.*

→ *De plus, les lisières non protégées tiennent encore mieux.*

*Cucchi et al., 2004*  
Tempête déc 99 ; Landes ;  
Vent S-W ; sols humides



Moment critique de renversement  
20% plus grand pour les arbres de lisière  
que pour les arbres au centre  
d'un peuplement sur alios à 0,5-1m

**La plaque racinaire est 2 fois grande et est particulièrement large du côté au vent.**

# Santé des arbres

**Epicéa** : *Fomes (Heterobasidion annosum)* → pourritures de tronc → volis

**Pin maritime** : *Fomes (Heterobasidion annosum)*, *Armillaire* → pourritures de racines

**Peupliers** : *Fusarium*

**Chênes sessile, pédonculé** : *Collybie (Collybia fusipes)*

Cf dépérissements pédonculés à Tronçais  
(Guillaumin et al, 1983) ;

Marçais & Caël, 2002 :

5 sites étudiés : Amance (54, *petraea* + *robur*),  
Aynans (Hte Saône, *robur*), Filain (Hte Saône, *petraea* + *robur*),  
Villey-Saint-Etienne (54, *robur*), Les Barres (45, *rubra*).

Classes d'infection par la Collybie	Arbres non endommagés	Arbres faiblement endommagés	Arbres fortement endommagés
Chablis % (nb d'arbres)	10% ( sur 135)	16% (sur 147)	30% (sur 86)
Risques relatifs	-	1,5	2,9

[Piton 2002, Haut Rhin]  
pédonculé davantage touché que sessile (7% contre 2%) :  
Pédonculé davantage dépérissant

# Cohésion et éclaircies

Les ouvertures augmentent la rugosité du « toit » de la canopée,

laissent entrer le vent et induisent des turbulences ;

les arbres perdent leur cohésion peuplement ;

les arbres mis à distance mettent du temps à s'acclimater au nouvel environnement.

# Cohésion et éclaircies

## Résineux

**Pin maritime** [Piton, 2002, **Lande +Gironde**, 2195 placettes]

Effet majeur du taux de prélèvement  $V_{\text{prélevé}}/V_{\text{avant}}$  dans les 5 ans avant tempête.

**Sapin Epicéa** [Piton, 2002, **Haut Rhin**, 1029 placettes]

Effet majeur du taux de prélèvement  $V_{\text{prélevé}}/V_{\text{avant}}$  dans les 5 ans avant, meilleur que variable binaire « prélèvement / non », meilleur que  $V_{\text{prélevé}}$

**Sapin Franche-Comté et Massif Central 415 placettes** [Angelier & François, 2004] : après  $H_{\text{seuil}}=27,5$  m effet net des coupes de régénération entamée

**Pin sylvestre** [Piton, 2002, **Haut Rhin**, 83 placettes]

Effet seul du taux de prélèvement  $V_{\text{prélevé}}/V_{\text{avant}}$  dans les 5 ans avant

**Douglas** [Angelier & François, 2004, **Massif Central 69 parcelles**]

Effet éclaircie si temps écoulé depuis dernière coupe = 1 an !

# Cohésion et éclaircies

## Feuillus

**Hêtre** [Piton, 2002, **Haut Rhin**, 192 placettes] : PAS D'EFFET  
[Bock et al, 2002, **Lorraine**, 145 + 40 futaies régulières + 38 TSH] :  
PAS D'EFFET

**Chêne** [Piton, 2002]  
Haut Rhin : PAS D'EFFET  
Yonne [720 placettes IFN] : **EFFET SIGNIFICATIF**  
(- fort que pour résineux)

# Eclaircies

## Feuillus et résineux

Effet significatif **NET** sur les résineux

Effet différent selon Hêtre (**pas d'effet**) et Chêne (**effet significatif dans l'Yonne**)

Question : parts des effets « augmentation de la rugosité »,  
« rupture de cohésion » et « non acclimatation individuelle »

### Résineux :

perte de cohésion peuplement au niveau des houppiers et des racines  
Prise au vent → Balancement → volis et chablis

### Hêtre - Chêne :

Eclaircies → augmentation de la rugosité : pas très différent entre chêne et hêtre  
→ Rupture de cohésion racinaire : pas très différent entre chêne et hêtre  
Cohésion des houppiers probablement faible en chênaie car grande rigidité des troncs

Hêtre : capacité très grande de « boucher » les interstices  
en acclimatant son houppier au nouvel environnement  
Et pour les racines ?

# Cohésion et chablis passés

**Idée de base : « sortir » de la situation (réaliste ?) où le peuplement est « assailli » à chaque fois tempête pour la première fois par le vent**

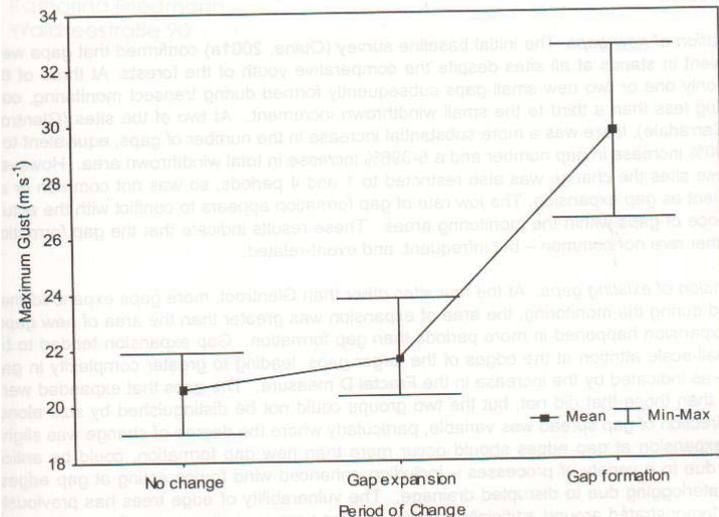
Quine, 2003, Sitka 40-55 ans, suivi des trouées (expansion, apparition)

Les vents forts créent de nouvelles trouées de taille entre 1 arbre et plusieurs ha, tous les 5-40 ans. Dans les intermèdes, des vents moins forts liés à de la neige peut-être, produisent des petites trouées de moins d'1 are.

→ Les vents modérés « saperaient » la cohésion et prépareraient les grands dégâts.

→ Replacer nos sylvicultures dans une dynamique de chablis « naturelle »

à moyen et long termes .



Quine, 2003

Fragilisation également si  
années ultérieures sèches

(Ex. Hêtraies normandes suite à  
tempête 1990)

# Dynamique d'“ouverture” par la tempête

Idée de base (Schütz et al., 2004) :

un peuplement « s'écroule » à partir de la rupture de sa cohésion,

rupture intervenant après l'assaut répété de plusieurs rafales importantes ;

les dégâts sont le résultat d'une chaîne de perturbation

→ liaison avec la durée de la tempête (rappel : 3j Massif Central 1982)

→ liaison avec forces de cohésion initiale du peuplement.

Quel seuil de surface de trouée ou de proportion d'ouverture du peuplement provoque la ruine d'un peuplement ?

# Partie III

Evolution des enjeux, de l'aléa, de certains facteurs et variables de risque

# Tempêtes : prévisions

**Les changements climatiques** conduisent à une augmentation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, ce qui peut renforcer l'intensité et la fréquence des dépressions génératrices de tempêtes.

De nombreux modèles prévoient un **accroissement de l'activité cyclonique** sur l'Atlantique NE et l'Europe W. D'un point de vue mécanistique, les raisons ne sont pas claires.

**Prudemment, on peut avancer qu'un renforcement des tempêtes aux latitudes moyennes (Europe W) est UNE évolution possible.**

La plupart des modèles prévoient un **réchauffement plus marqué aux hautes qu'aux basses latitudes**, ce qui réduirait alors les contrastes de température, et donc aussi réduirait le **potentiel de formation de dépressions**.

*Une augmentation des tempêtes  
(fréquences, intensités...) n'est pas assurée*

# Davantage assurée : l'évolution des facteurs aggravants

Hivers plus doux :  
moins de gel,  
davantage d'averses (neige ? Pluie?)

Moins de sols gelés (Fortes altitudes, Scandinavie)

Davantage de charges sur les houppiers  
Systèmes racinaires moins solidaires du sol  
→ Ancrage défectueux

# Indéniable : l'évolution des enjeux

[Gip Ecofor Expertise collective 2001]

Surface forestière en extension : + 80 000 ha / an

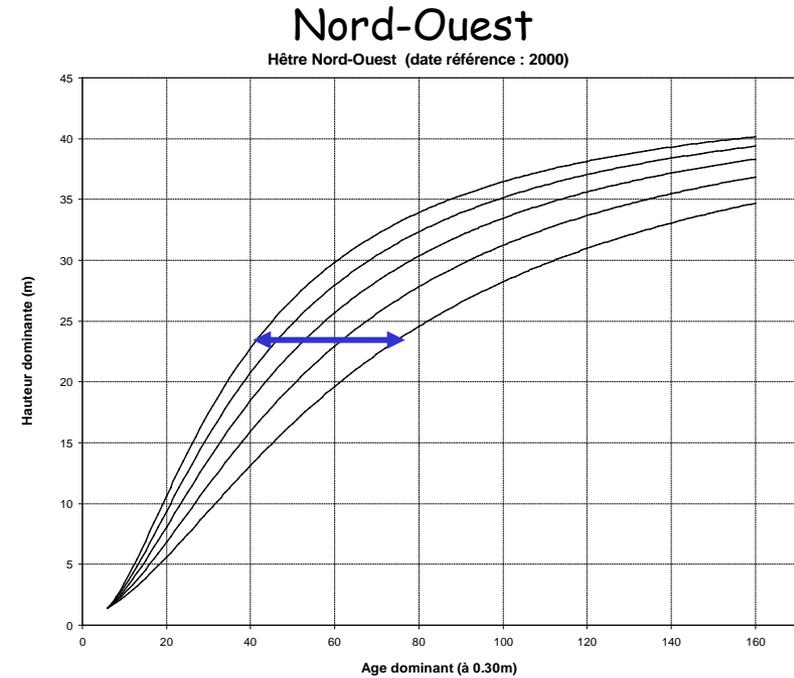
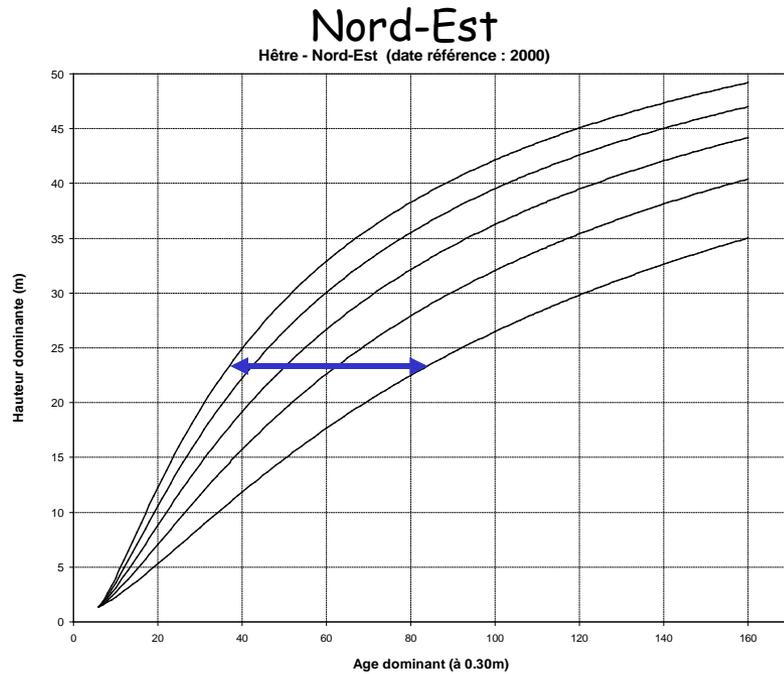
Volume moyen sur pied augmente : 1980→1992 : 129 →149 m<sup>3</sup>/ha

Les futaies progressent : + 800 000 ha entre 80 et 92

La hauteur dominante augmente

# Ho augmente. Ex du Hêtre

Travaux de Bontemps et al. (2005) Thèse ENGREF en cours ; Pour Est GIP Ecofor



Les flèches indiquent, pour  $H_{seuil}=23,5m$ , l'âge dominant du peuplement correspondant : selon les différentes fertilités spécifiées, entre 30 et 80 ans dans le N-E, entre 40 et 75 dans le N-O.

*Ho augmente différemment selon les régions : ainsi, le changement de productivité a été double à l'Est. Si on fait abstraction des changements de productivité, les hauteurs maximales plafonnent davantage à l'Ouest.*

# Partie IV

**Les situations à risque et  
propositions de gestion**

# Les sites à vents violents

La sylviculture ne peut influencer le vent.

Penser que "certains vents" (réguliers, pas trop forts) permettent de développer l'acclimatation des arbres

La sylviculture et l'aménagement doivent "s'acclimater" au vent (stratégie d'acceptation)

## Propositions :

### 1. Pour chaque parcelle ou forêt, disposer d'info. historiques et météo.

- Motiver l'extension du réseau de stations météo., notamment là où les enjeux forestiers sont importants, et en altitude (> 500 m) ;
- développer les recherches historiques, l'enregistrement et l'archivage des dégâts forestiers à l'échelle des parcelles, des propriétés,
- voir si on ne peut pas disposer de données infra-nationales des Cies d'assurances, développer et disposer d'indices, de cartes de vent réguliers, forts, très forts en fonction de la topographie,
- "prolonger" les cartes de ressources éoliennes,
- adapter des systèmes de cartographie des risques.

### 2. Au sein de chaque parcelle à exposition élevée

- intervenir moins souvent dans ces zones afin de favoriser l'acclimatation des essences,
- favoriser les essences et des mélanges bien en station, à ancrage racinaire plastique et fort.

# Les autres situations, liées à :

Une mauvaise adéquation sol - espèce

$$H_o > H_{\text{seuil}}$$

Eclaircies tardives ou non réalisées

Aucune gestion des lisières

Sous étage absent et/ou mélange  
absent

# Les lisières

## Propositions

non opaque, à feuilles caduques,  
Voire essences à phénologie foliaire précoce (essences pionnières)  
à « toit » en pente face au vent  
Face aux directions des vents forts et tempêtes prédominantes

## Avantages

refuges de biodiversité  
Écran pour favoriser l'élagage naturel des troncs,  
évite le développement des gourmands  
→ objectif qualité technologique

## Inconvénients

Consomme de la surface  
La mise en place dépasse l'échelle propriété forestière  
→ Besoin de concertation inter-propriétés

# Les bosquets de stabilité

## Situations à considérer

Sols à fortes contraintes,  
zones topographiques exposées,  
enjeux de production forts,  
essence objectif dont on ne connaît pas bien le comportement

## Propositions

Essences bien en station, à système racinaire adaptable  
(favoriser la recolonisation de l'aire du chêne)  
Laisser s'installer le mélange  
Mettre en place ces bosquets « autour » des arbres morts maintenus ?

### Avantages

refuges de biodiversité  
Écran pour favoriser l'élagage naturel, éviter le développement des gourmands  
→ objectif qualité technologique

### Inconvénients

Consomme de la surface  
Peut gêner l'exploitation mécanisée

# H<sub>seuil</sub> et éclaircies

## 2 grandes attitudes :

### 1. Type « Sylviculture océanique »

on plante, ou on régénère « serré »

On intervient très peu → maintien de la cohésion peuplement

On exploite avant (« autour ») de H<sub>seuil</sub> → stratégie d'évitement

**Pour quelle essence ce schéma tient-il en France ? AUCUNE**

# Ho, H<sub>seuil</sub> et éclaircies

2. Type « Sylviculture dynamique » ;

ENRAILLER LA CAPITALISATION DU BOIS SUR PIED

## Propositions

On va se servir de Ho et des H<sub>seuil</sub> essentiellement pour définir des grandes zones de stabilité et de pertinence des éclaircies

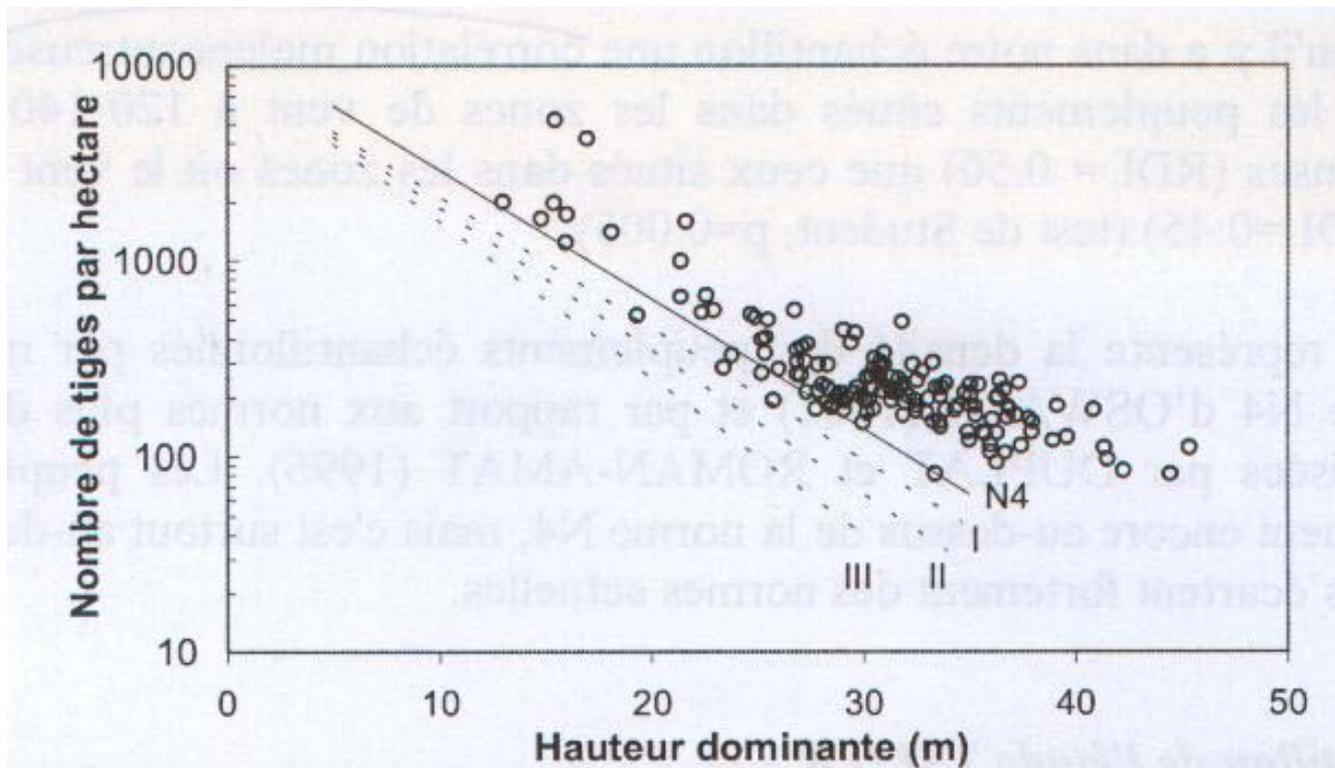
1. En dessous des H<sub>seuil</sub>, "préparer" l'acclimatation des arbres en intervenant fort et assez souvent
2. Au dessus des H<sub>seuil</sub>, pratiquer des éclaircies peu nombreuses mais fortes pour éviter que le peuplement soit souvent dans une situation vulnérable
3. est-ce que H<sub>seuil</sub> correspond à la sortie de la phase de compression ?

## Grandes questions :

quid des "gourmands" et autres formations épïcormiques à éviter (Chênes)  
et de l'élagage naturel, à favoriser !

# Le challenge sylvicole : intensifier la sylviculture et, au moins, faire adopter le progrès technique déjà acquis

**Illustration:** positionnement des 145 parcelles de futaie régulière étude Bock et al., 2002 par rapport aux normes N4 Norme Oswald 1981 et Duplat&Roman-Amat (1996) Fertilité bonne I, moyenne II et médiocre III.



**Et réussir la convergence  
des 3 objectifs :**

- qualité de la production,**
- biodiversité,**
- stabilité au vent.**

# Partie V

**Outils d'aide à la décision :  
inventaire, opérationnalité,  
recherches à mener**

# Outils d'aide à la décision :

A partir des modèles de croissance qualité

intégrant les changements de productivité et les risques

Ex. Fagacées (Hêtre, Chêne), Pin maritime, WinEpiFN, plateforme CAPSIS

ForestGales-Capsis (Meredieu),  
outils développés dans projet VENFOR (cf exposé Y. Brunet)

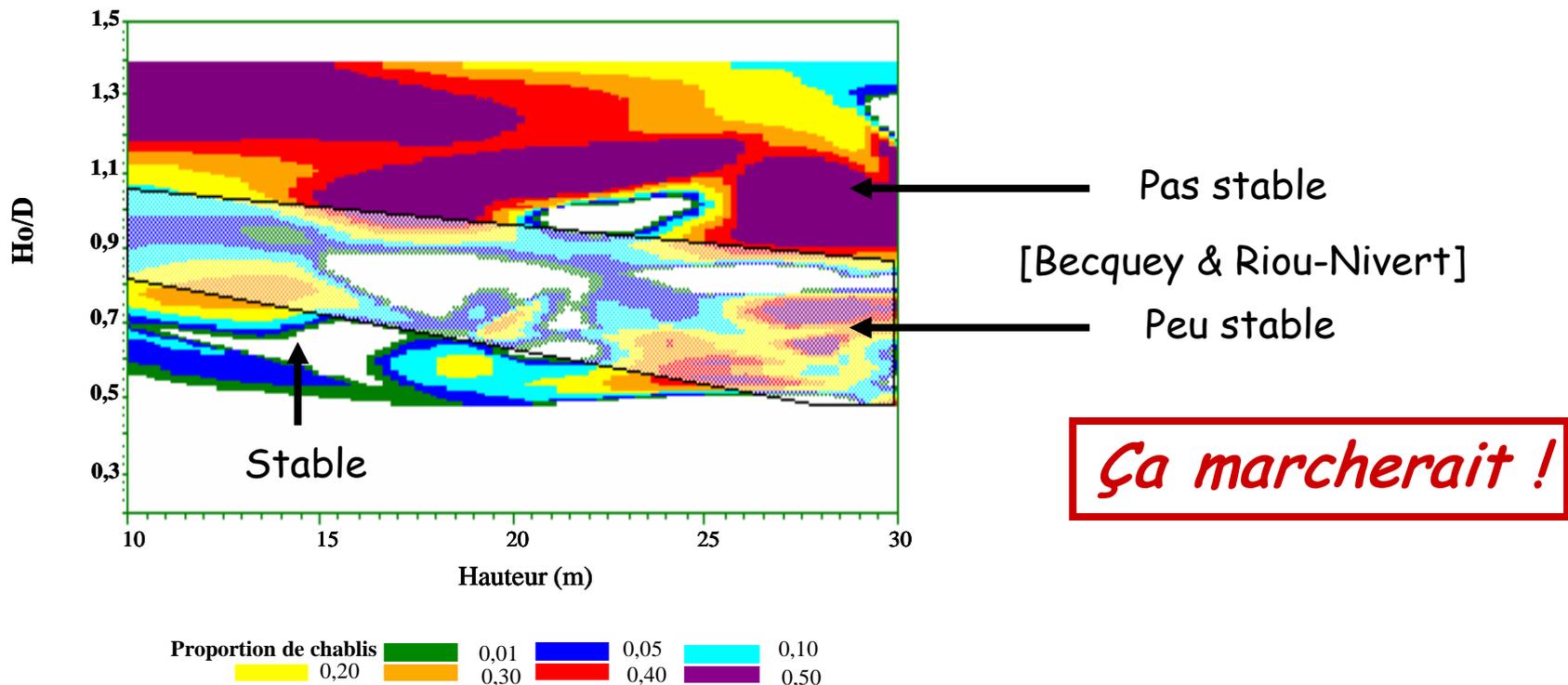
Développement d'outils de diagnostic terrain : **IL Y EN A BESOIN**

zones de stabilité modernisées (Becquey 1986 ; Becquey, Riou-Nivert 1987 ; Riou-Nivert, Laden 1991 ; Turret V., 1989 ; Becquet J., 1986)

→ 3 nouveaux exemples

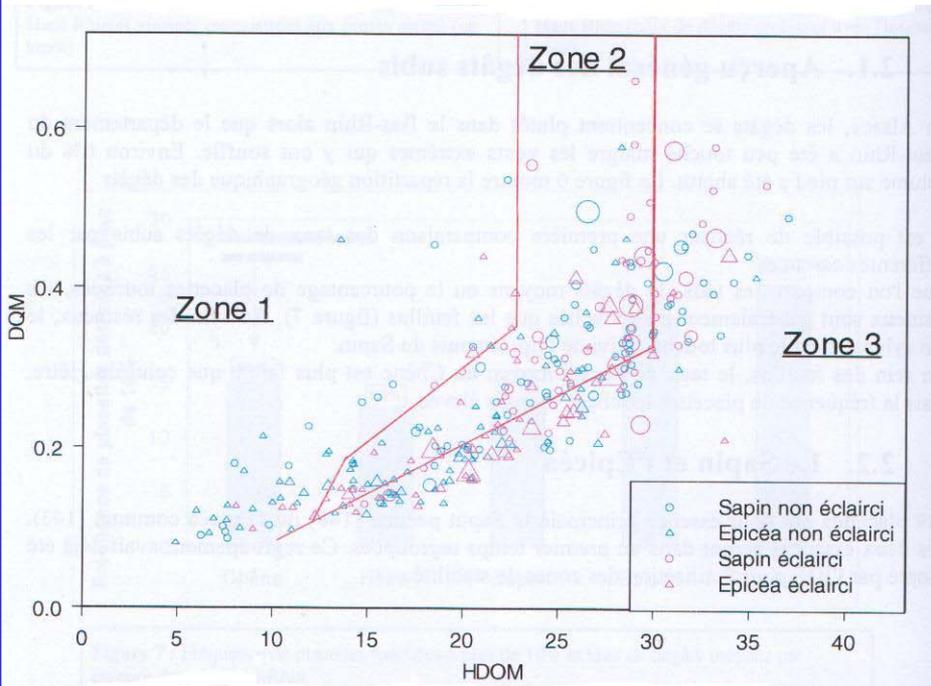
# Ho/D, zones de stabilité Sapin et épicéa

Renaud J.P., 2002. Tempêtes déc. 1999 ; sols gorgés ; France ; réseau européen  
28 placettes Epicéa, 22 placettes Sapin ; surtout Est France  
ajustement logistique de N arbres abîmés / N total arbres



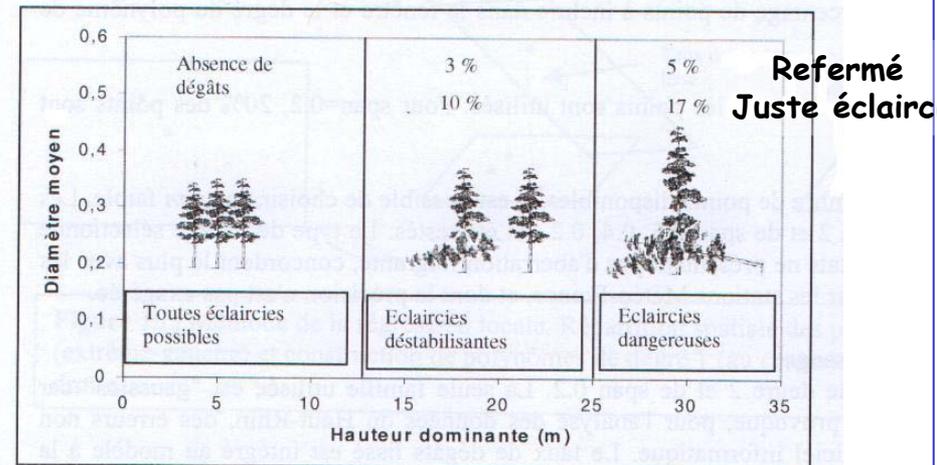
# Ho/D, zones de stabilité Sapin et épicéa

Piton B., 2002. Tempêtes déc. 1999 ; **placettes IFN Haut Rhin**  
143 placettes Epicéa, 146 placettes Sapin ; ajustement logistique (quasi-vrais.)



Variables significatives :  
Expo., Eclaircie, Ho, Vent, Essence  
 $R^2$  Logist. = 0,28

**D, H/d, H<sup>2</sup>/D non significatives**



Autre étude : Angelier & François, 2004  
Sapin Franche-Comté Massif Central  
415 parcelles :  
**pas d'effet Ho/D**

***Ça ne marcherait pas !***

# Recherches à poursuivre :

## Développement des modèles de croissance qualité

intégrant les changements de productivité et les risques

Fagacées (Hêtre, Chêne),  
Pin maritime, WinEpiFN, CAPSIS...

Développement d'outils de diagnostic terrain : concepts de zones de stabilité à mettre à jour (cf travaux de Riou-Nivert)

# Autécologie des arbres

La **sensibilité** des essences est progressivement mieux connue mais **toujours assez mal argumentée**. Les avancées devraient concerner :

- les caractéristiques du **houppier** qui déterminent les forces appliquées par le vent, et les processus d'acclimatation au vent (streamlining, élagage, ré-allocations...);
- les défauts, les altérations pathologiques (en fonction des stades de développement), les propriétés mécaniques des **troncs** qui déterminent la rupture, et les processus d'acclimatation au vent (bois de réaction...);
- les patrons de développement des **systèmes racinaires**, la formation de la plaque racinaire (limites, forme, masse, densité de racines...), les propriétés mécaniques, les anastomoses, enchevêtrements racinaires...déterminant les **cohésions peuplement** et les processus d'acclimation des racines au vent et aux contraintes verticales et horizontales

# Changements de productivité

**Besoin urgent des courbes de croissance en hauteur dominante  
pour les principales essences forestières  
(« les enjeux ») et par « région ».**

# VI. Conclusion

Récemment des résultats importants ont été obtenus sur des **échantillons très grands** mais « encore » **assez régionaux** : des variables explicatives ont été identifiées avec des modèles statistiques adéquates.

Toujours subsiste le problème de comparaison entre tempêtes, pays, espèces...

Question importante : doit on abandonner la variable « Vent » peu précise dans des modèles qui ont une ambition prédictive ?

Les nouvelles propositions sylvicoles sont « peu de choses » par rapport au progrès technique déjà acquis qui doit atteindre la pratique forestière.

Des propositions plus ciblées doivent concerner les ressources (enjeux) suivantes :

- Hêtraie lorraine qui a été très touchée et croît de plus en plus,
- Chênaie peu touchée et variablement selon chêne sessile/pédonculé,
- Pessières - Sapinières dont pessières < 500 m très touchées,
- Douglas, essence exotique qui s'impose progressivement,
- Pin maritime, dans le cadre d'une filière très intégrée.

# Les documents cités

- Angelier A. & François D., 2004
- Badeau V., Dambrine E., Walter C. 1999
- Becquet J., 1986
- Becquey J. & Riou-Nivert P., 1987
- Bessemoulin P. & Drevet C., 2005 in [www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/biblio/pigb15/08\\_evolution.htm](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/biblio/pigb15/08_evolution.htm)
- Bock J., Duplat J.-P., Renaud J.P., Vinkler I., 2002
- Bontemps J.-D., Hervé J.C., Dhôte J.F., 2005
- Cucchi V. & Bert D., 2003
- Cucchi V., Meredieu C., Stokes A., Berthier S., Bert D., Najar M., Denis A., Lastennet R., 2004
- De Champs J., Ferron J.-L., Michau D., Savatier N., 1983
- Dhôte 2005
- Drouineau et al., 2000 [Expertise collective]
- Duplat P. & Roman-Amat B. 1996
- GIP ECOFOR Appel à propositions 2001 : <http://www.gip-ecofor.org/ecofor/publi.page.php?id=1096>
- Guillaumin et al, 1983
- Hedden et al., 1995
- <http://www.windatlas.dk/Europe/EuropeanWindResource.html>
- IFN 2004 : <http://www.ifn.fr>
- Jalkanen & Mattila, 2000
- Lebourgeois et al., 2004
- Lévy G. & Lefèvre Y., 2001
- Marçais & Caël, 2002
- Moore & Gardiner, 2001
- Moore J., Gardiner B., 2001
- Najar, 2002
- Piton, 2002
- Polge H., 1960
- Putz et al 1983
- Quine, 2003
- Renaud J.-P., 2001, 2002 ;
- Riou-Nivert 2000
- Riou-Nivert P. & Laden P., 1991
- Schütz et al. 2004
- Stokes A., Berthier S., Sacriste S., Martin F., 1998
- Stokes A., Nicoll B.C., Coutts M.P., Fitter A.H, 1997
- Swiss Re, 2000. in [www.swissre.com](http://www.swissre.com)
- Tourret V., 1989