

Programme Forêt, vent, et risque

**Stabilité des arbres et des peuplements :
caractéristiques dendrométriques, stations,
structure des peuplements, espèces**

I. VINKLER

**F. Colin, Y. Lefèvre, F. Lebourgeois, F. Gosselin,
M. Najjar, P. Riou-Nivert, JP. Renaud, JC Hervé**

↓ stabilité physique (résistance mécanique)

↓ échelle arbre et peuplement

↓ impact immédiat de la tempête

De nombreuses équipes :

UMR 1092 INRA-ENGREF "LERFOB" (*Lebourgeois F, Jabiol B, Bruciamacchie M, Archevègue G, Colin F, Drexhage M.*)

UMR 1137-INRA Equipe "Phytoécologie Forestière" "Ecologie et Ecophysologie forestières" (*Bréda N., Dupouey JL, Lefèvre Y.*)

ONF (Département Recherche) (*P. Duplat, J. Bock, I. Vinkler, B. Jacquemin, A. Angelier, D. François*)

CEMAGREF (Nogent) (*F. Gosselin*)

AFOCEL Bordeaux (*M. Najar*)

UMR 911 INRA Pierroton (*D. Bert, V. Cucchi, P. trichet*)

IDF (*P. Riou-Nivert*)

IFN (*JC Hervé, JP Renaud*)

Des questions pratiques très simples :

1. Quels sont les facteurs de sensibilité des peuplements ?

Stations, structure, histoire des peuplements...

2. Peut-on diminuer les risques par des pratiques sylvicoles adaptées ?

Des questions scientifiques complexes

1. Compréhension de la stabilité individuelle de l'arbre

Prise au vent du houppier, comportement méca des parties aérienne, poids et comportement méca de la balle sol-racine en relation avec le sol

2. Intégration complexe des facteurs en interaction à l'échelle du peuplement : vent/essence-structure des peuplements /station

Stabilité individuelle / collective
Impact du mélange, du traitement
Passage à l'échelle du paysage

Des réponses difficiles à obtenir

1. Connaissance partielle du vent
2. Répartition spatiale non aléatoire des situations forestières
3. Grand nombre de placettes nécessaire !
4. Réalité des peuplements : une gamme de sylviculture étroite

OBJECTIFS :

I. Bilan des facteurs impliqués dans le risque

- ▣ Vitesse du vent
- ▣ Station
- ▣ Hauteur
- ▣ Sylviculture passée
- ▣ Sylviculture récente (éclaircies)

Points communs et
différences de comportement entre essences

II. Gestion sylvicole du risque

- ▣ Principales perspectives sylvicoles
- ▣ Illustration de la vulnérabilité des hêtraies du Nord-est

METHODES :

Des observations...

- ▣ Caractérisation des systèmes racinaires
- ▣ Intensité, nature des dégâts

...Aux échelles arbre, placette ou parcelle:

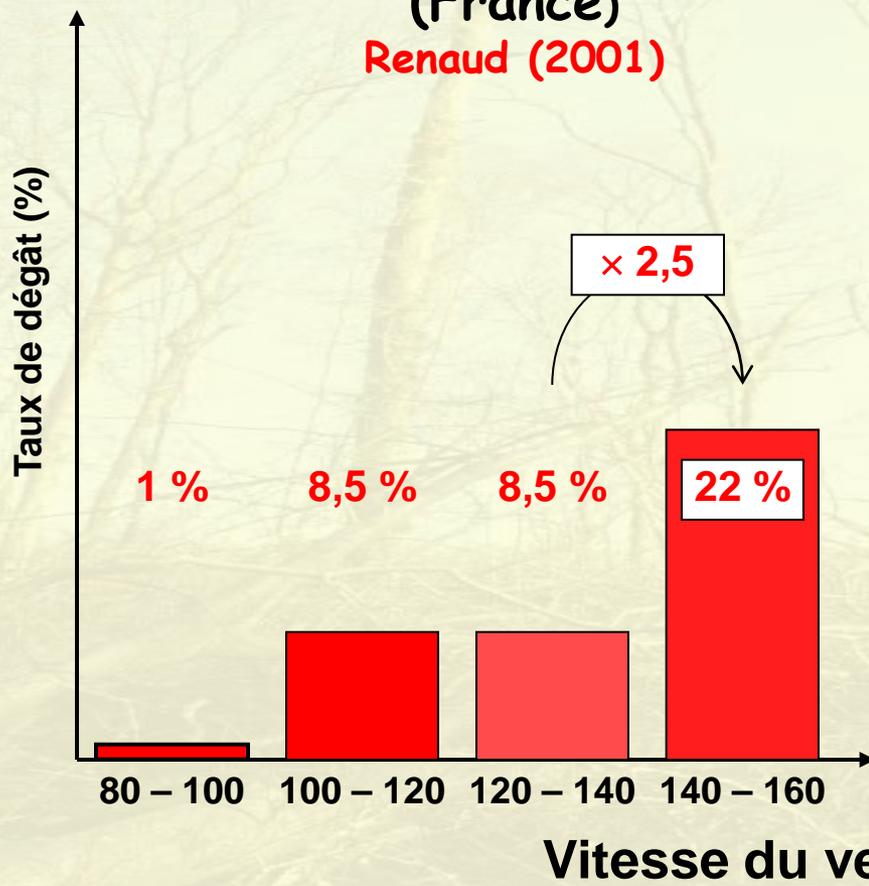
- ▣ Parcelles forestières et placettes dendro-écologiques en hêtraie et hêtraie-chênaies de Lorraine (Lebourgeois et al, Lefèvre et al),
- ▣ Placettes sylvicoles et expérimentales de FR et TSF hêtre, dans le NE de la France (Bock et al),
- ▣ Placettes expérimentales en forêt de Brie et Montargis (Gosselin)
- ▣ Dispositifs expérimentaux Pin Mar dans le sud-ouest (Najar)
- ▣ Placettes IFN et du RE santé de forêts (Piton, Riou-Nivert, Hervé, Renaud)

Analyse statistique et modélisation, le plus souvent modèle de risque par régression logistique

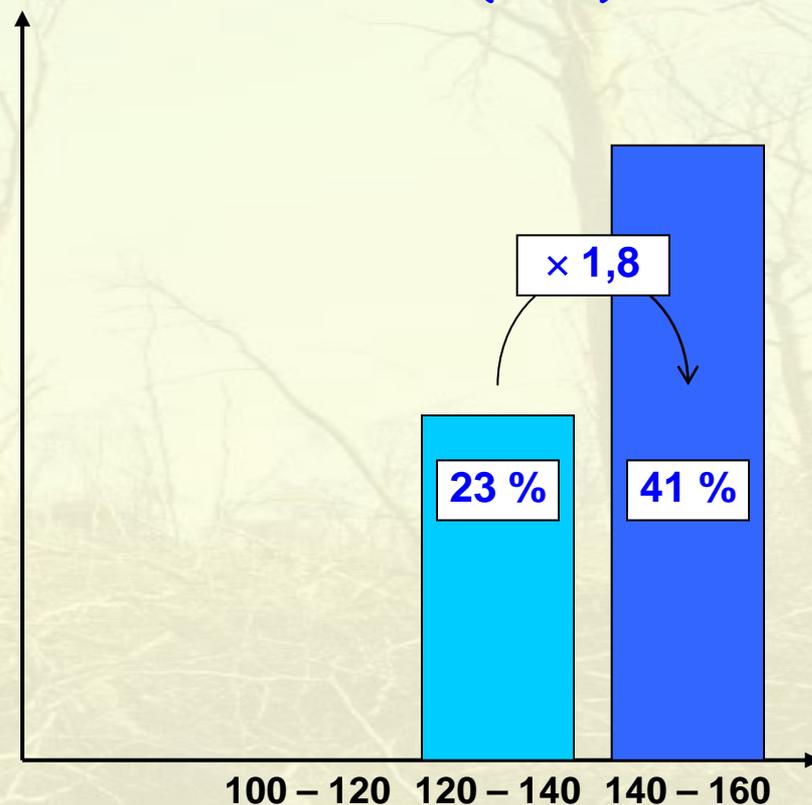
Impact du vent sur les dégâts

L'intensité du vent : un facteur déterminant...

Toutes essences confondues
(France)
Renaud (2001)



Hêtre (NE France)
Bock et al. (2001)



... mais souvent peu (voire pas) explicatif dans les modèles

	R ²	Facteur vent
Sapin-Epc (IFN - 68)	0,28	**
Pin Syl (IFN, 68)	0,11	NS
Hetre (IFN, 68)	0,23	NS
Chenes (IFN, Yonne)	0,16	***
Pin Maritime (IFN, Landes)	0,13	***
Hetre (Bock, Nord Est)	0,34	***
Sapin (ONF, Jura)	0,33	NS
Douglas (ONF, Massif central)	NC	NS
Toutes essences (RE, France)	NC	***

Le chablis : un phénomène complexe à caractère très aléatoire

Gosselin, 2002- Etude statistique de l'influence des paramètres dendrométriques et sylvicoles sur la stabilité au vent des peuplements à base de chêne en forêt de Brie

Les effets spatiaux aléatoires expliquent 64% de la variabilité des dégâts !

- variabilité stationnelle à courte distance ?
- champ de vent mal connu, variabilité spatiale et temporelle du vent non prise en compte

Le déterminisme des chablis : un phénomène difficile à expliquer, voire chaotique ?

Station et stabilité

➤ Rôle primordial de l' « adaptation à la station »

FD Hardt (68) : des dégâts plus importants sur le chêne pédonculé que sur le hêtre !

➤ Rôle défavorable des facteurs qui limitent la prospection racinaire en profondeur :

- ▣ engorgement, mauvais drainage
- ▣ forte compacité
- ▣ présence d'éléments grossiers, dalle superficielle

Renaud, 2001 ; Bock, 2001 ; Lefèvre, 2002 ; ONF, 2002 :

Très sensible à la contrainte : HETRE, EPICEA

Sensibles : SAPIN, PIN SYLVESTRE

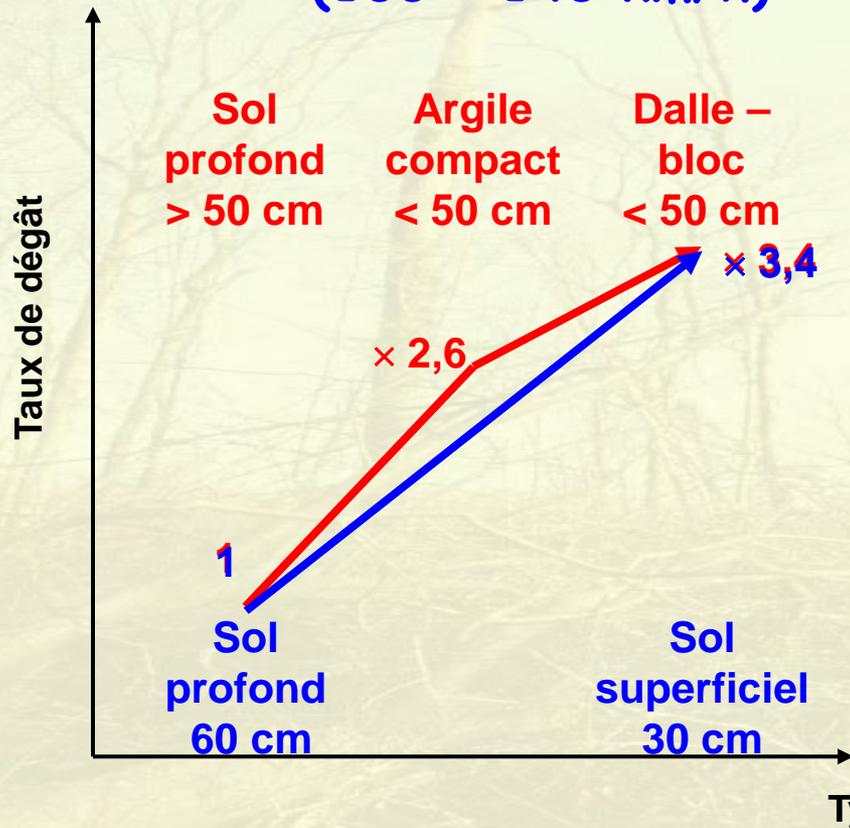
Peu sensibles : CHENES

Illustration des contraintes à l'enracinement sur la stabilité du hêtre

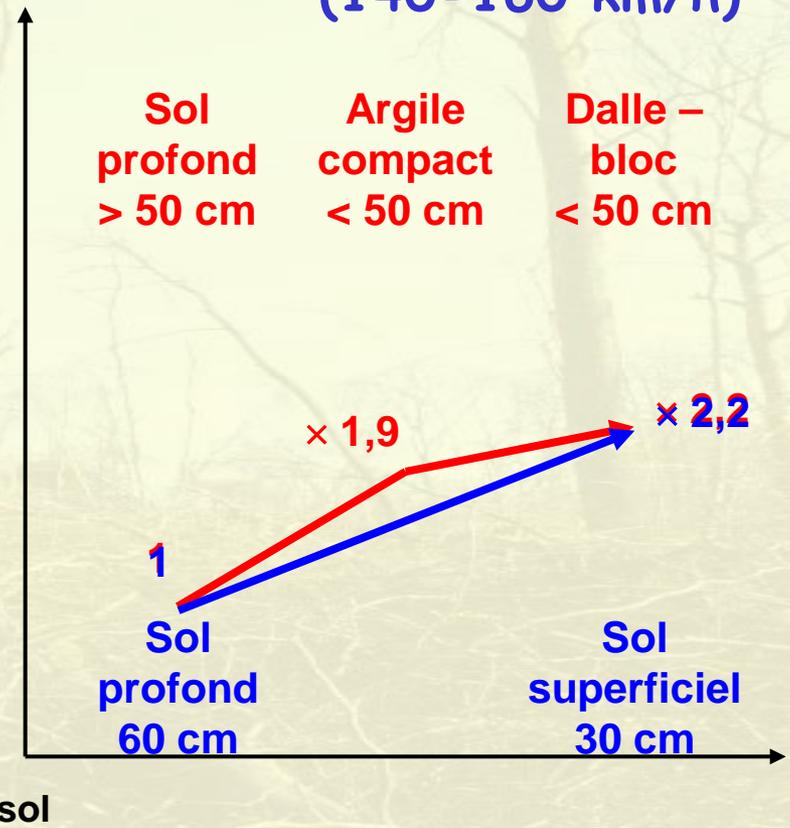
Bock et al, 2001, NE France

Renaud, 2001, RE France

Vent moyen (120 - 140 km/h)
(100 - 140 km/h)

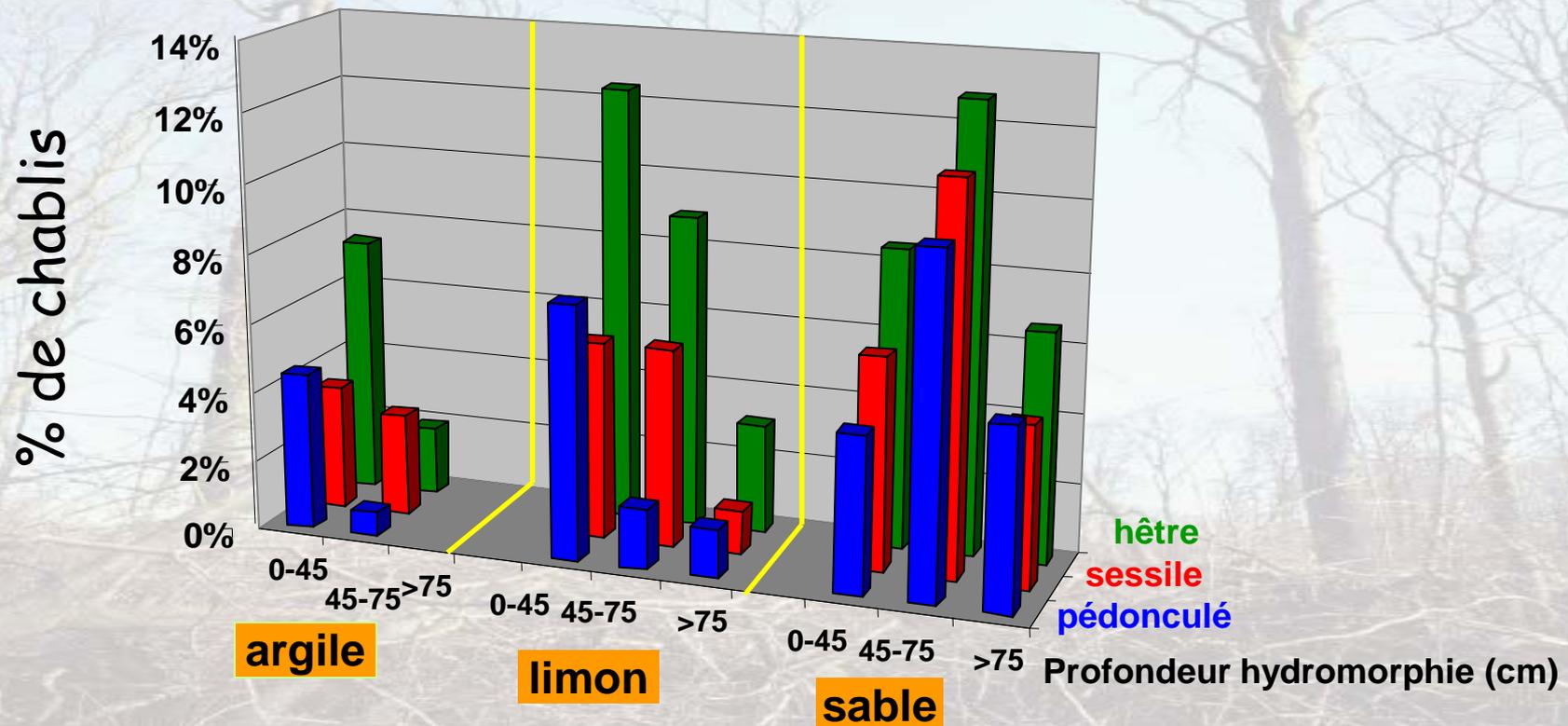


Vent fort (140 - 160 km/h)
(140-160 km/h)



Contraintes à l'enracinement sur Plateau Lorrain et stabilité du hêtre et du chêne

- Incidence défavorable d'une hydromorphie superficielle
- Incidence défavorable d'une texture sableuse



Mondon - Vitrimont, Chênaies-hêtraies du Plateau lorrain (alluvions)

Placettes dendroécologiques, Lefèvre, Phytoécologie forestière

Richesse chimique et stabilité

- Pin maritime : impact défavorable d'une fertilisation intensive sur la stabilité (*Trichet, Najjar et al*)
- Hêtraie - chênaie du Plateau Lorrain : incidence défavorable d'un C/N élevé (*Lefèvre et al*)
- Etudes suisses et allemandes : risque accru sur sol pauvre (pH faible) (*Braun et al, 2003 ; Mayer et al, 2003*)

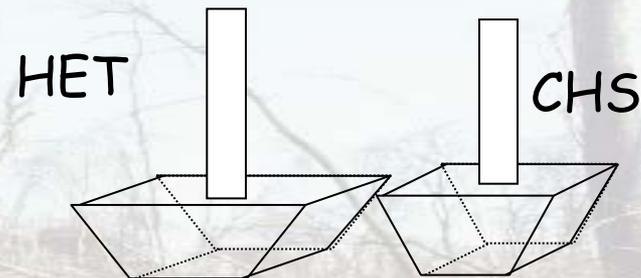
Enracinement comparé du hêtre et des chênes dans différentes situations sylvicoles et stationnelles. Lebourgeois et al, 2002

Sol profond sans contrainte
FD Hays - Limons sur alluvions anciennes argileuses

**Bon drainage,
bonne structuration, Pas
d'hydromorphie**

HET	CHS
	Nutrition-eau
	Stabilité

MOTTES GLOBULEUSES



Profondeur d'enracinement : 150-180 cm

Architecture en coeur
très dense

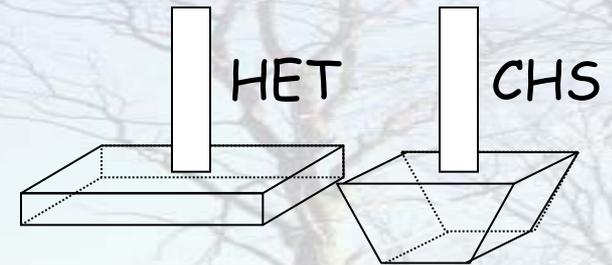
Sol avec une contrainte modérée - Plateau lorrain (Amance-Brin)

Placage limoneux sur argile lourde et marne du Lias

Mauvais drainage,
Légères traces
d'hydromorphie
après 60 cm

☐ Prospection verticale du système racinaire du hêtre fortement réduite - Compensation « horizontale »

☐ qualité d'ancrage conservée dans le chêne

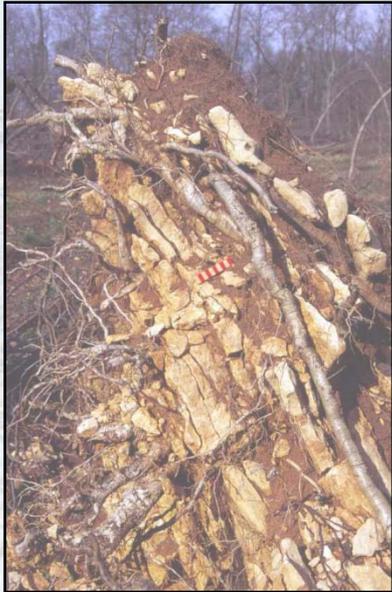


	HET	CHS
Profondeur d'enracinement	70 - 80 cm	150-180 cm
Nutrition-eau		
Stabilité		
	50% chablis	10% volis
Galettes	aplaties	globuleuses

Meilleure stabilité du chêne sur sol mal drainé ou engorgé

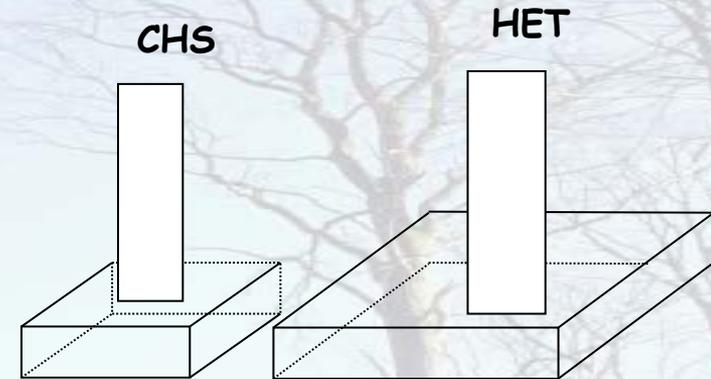
Sol avec une contrainte forte

Dalle calcaire horizontale à 50-60 cm associée avec des EG plats ou globuleux



Volume prospecté
nettement réduit pour les
2 espèces

Compensation
« horizontale » du hêtre



Nutrition - eau



Stabilité

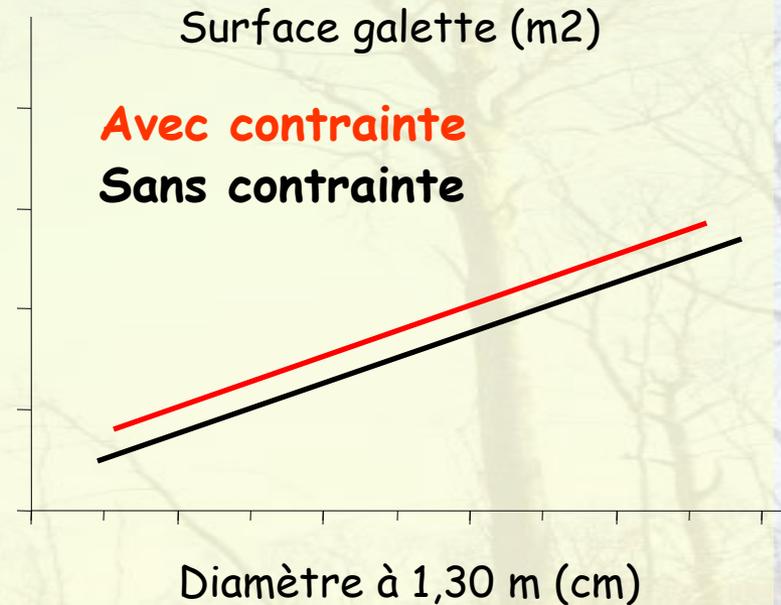
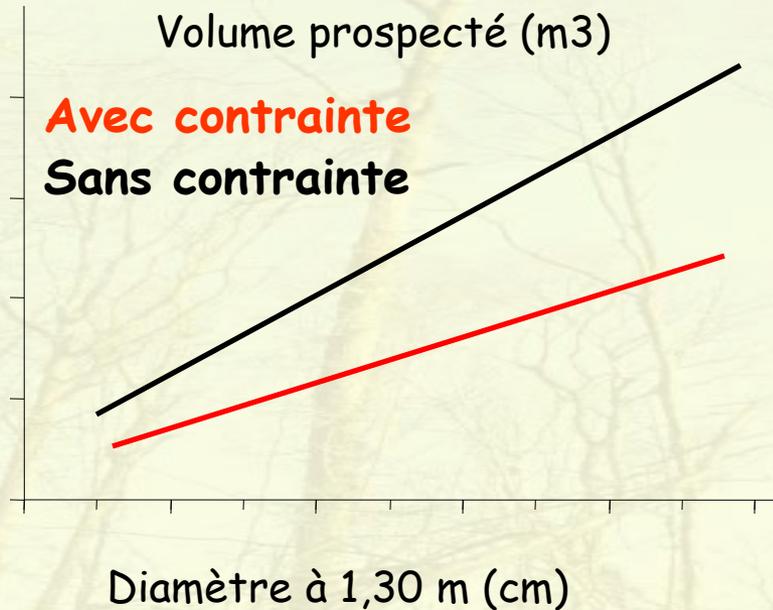


Galettes aplaties

Ancrage et stabilité défavorables pour les 2 espèces

Dimensions des plaques racinaires de hêtre : sensibilité aux contraintes

Lebourgeois et al, 2002 ; Bock et al, 2001



- forte sensibilité de la prospection verticale aux contraintes
- réduction de la prospection horizontale par la pierrosité
- plasticité « horizontale » en réponse à la contrainte en profondeur
- pas d'incidence de la densité du peuplement ni du traitement

Hauteur des peuplements et stabilité

Renaud, 2001 ; Piton, 2002 ; Bock, 2001 ; Lefèvre, 2002 ; ONF, 2004 ; Najjar, 2002 :

➤ **Effet prépondérant de la hauteur** (ou âge ou D0)

Forte élévation du risque avec la hauteur pour :

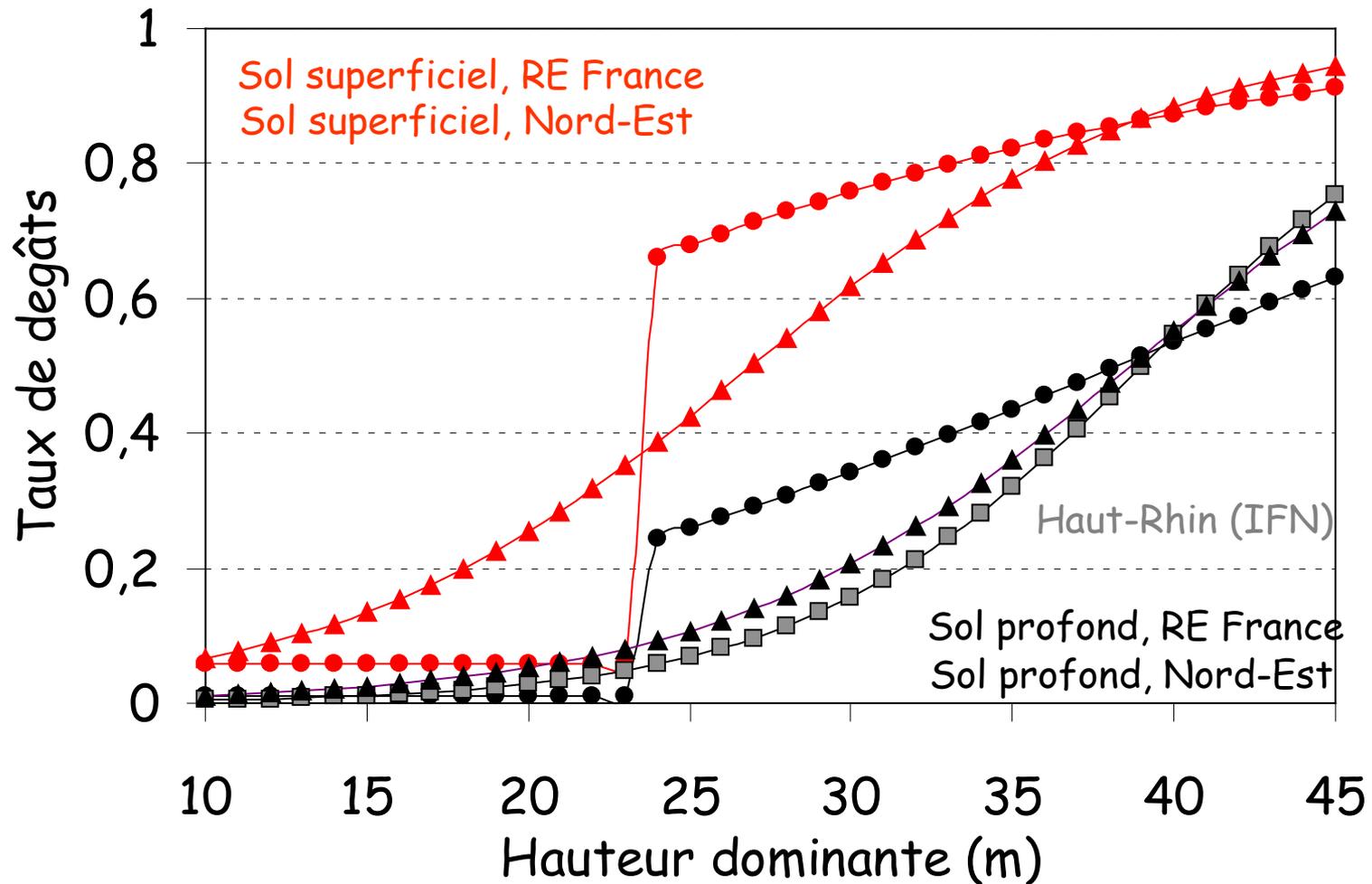
Hêtre, le chêne, sapin, épicéa, douglas, pin maritime
« Exception » : Pin sylvestre

Dans le Nord-est de la France :

➤ Hêtre, Chêne : premiers dégâts vers 20 m,
forte élévation au delà de 25 m (hêtre)

➤ Résineux : premiers dégâts vers 15 m, voire 10 m

Modélisation du taux de dégâts dans les hêtraies (140-160 km/h)



2 facteurs de risque majeurs de la hêtraie

➤ Hauteurs élevées

Facteurs défavorables : âge élevé, fortes potentialités stationnelles (enjeu important)

➤ Sols superficiels

Les peuplements à risque sont les peuplements âgés, sur sol superficiel, ou sur sol très riche

Impact de la sylviculture passée

Structure des peuplements et stabilité

En situation de couvert fermé, en l'absence d'éclaircie récente :

À hauteur fixée, effet de la densité, du volume ?

➤ Pour toutes les essences, la réponse est non

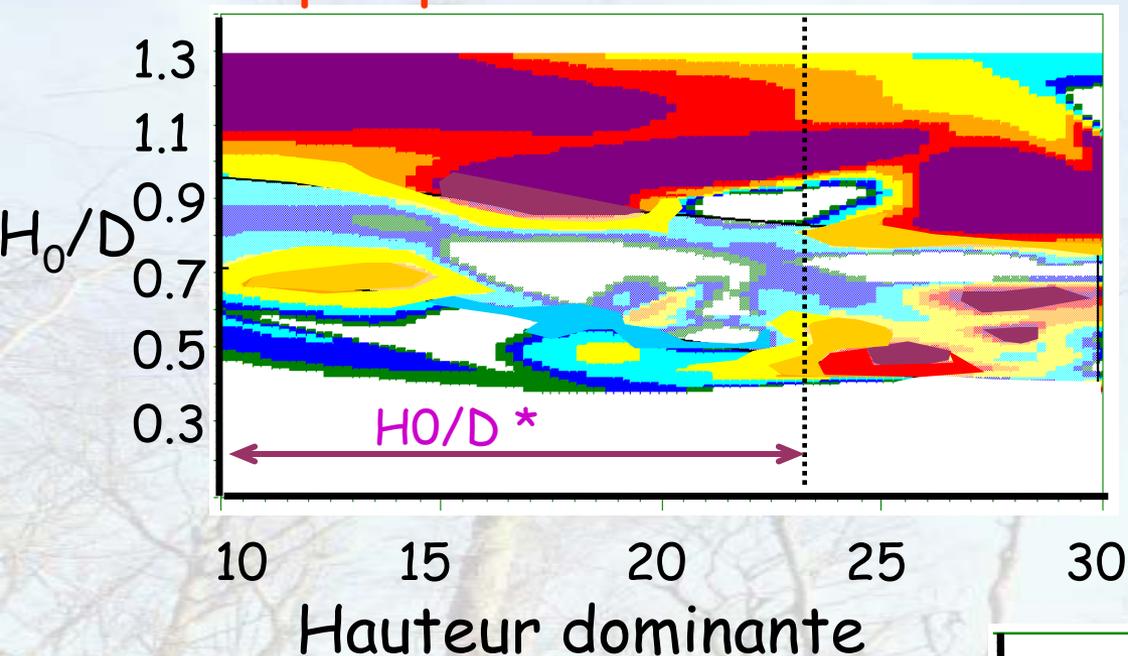
Renaud, 2001 ; Piton, 2002 ; Bock, 2001 ; ONF, 2004 ; Najjar, 2002

➤ La fermeture du couvert, son homogénéité favorisent la stabilité (effet bloc)

Hêtre (Bock) ; Pin maritime (Najar et al) ; Chêne (Piton)

À hauteur fixée, effet du diamètre moyen des tiges (donc de H_0/Dg) ?

Sapin/Épicéa



Réseau Européen
Santé des Forêts
(Renaud, 2001)

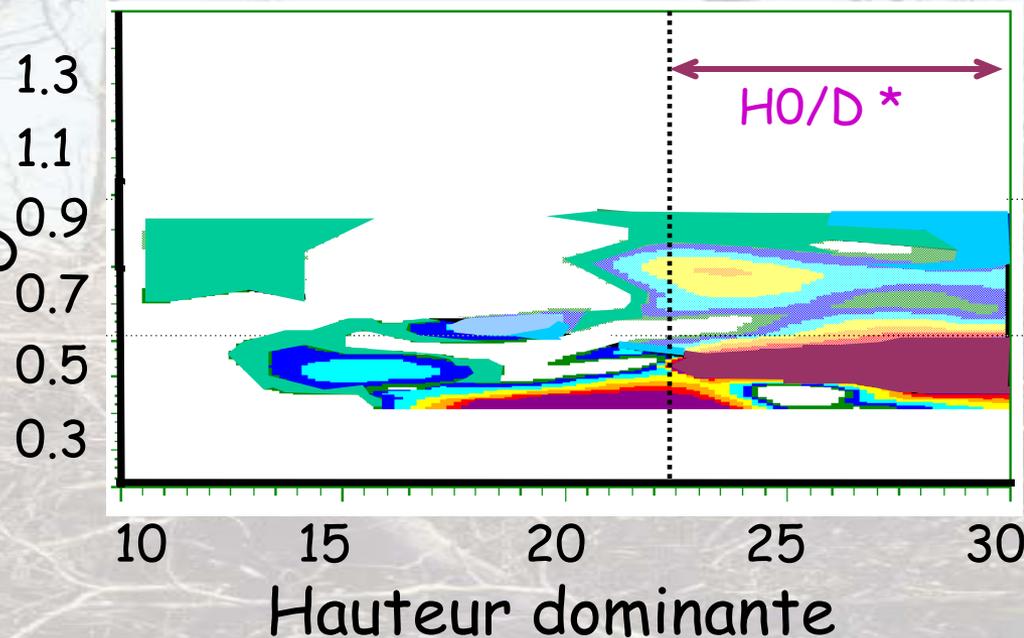
Hêtre

ZONES d'ISO-PROBABILITE

Probabilité de chablis



H_0/D



Effet complexe du facteur H_0/D_g

➤ Résineux :

Pour de faibles hauteurs ($H_0 < 23$ m), tendance à un risque accru pour des valeurs de H_0/D_g élevées

En accord avec Piton, 2002 et Becquey et Riou-Nivert, 1987

En contradiction avec Redde, 2002 ; durnham and cameron, 2000...

➤ Feuillus :

Pour de fortes hauteurs ($H_0 > 23$ m), tendance à un risque accru pour des valeurs de H_0/D_g faible !

Comportement particulier du hêtre confirmé à l'échelle de l'arbre par Bock et al (2002)

Région de Nancy (plateau calcaire), vent très fort :

620 arbres étudiés en TSF et FR

Chablis équivalents dans les 2 structures (60%)

➤ En première analyse :

Proba (chablis) = F(Htot ; Prof C ; Htot/D130)

↪ La Proba (chablis) \nearrow quand Htot/D130 \searrow

Risque au niveau individuel associé aux arbres trapus !

➤ En seconde analyse :

Proba (chablis) = F (Prof C ; Hauteur ; Rmoy)

↪ La Proba (chablis) \nearrow quand le rayon moyen du houppier augmente

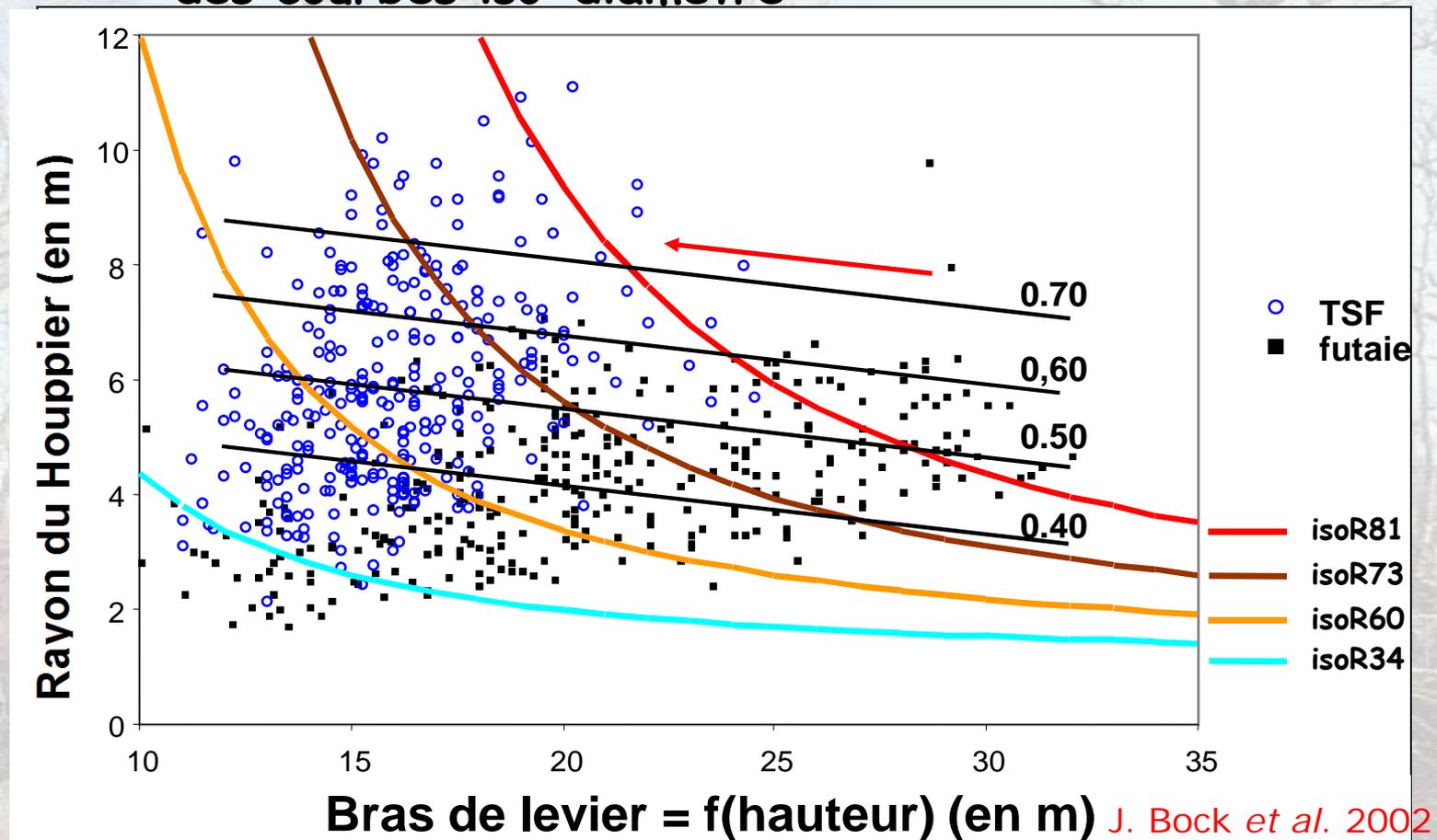
Modèle indépendant du traitement,

Résidus indépendants de H/D

Effet Htot/D130 associé à un effet taille du houppier

Hêtres de TSF / Hêtres de FR : Situation dans le plan bras de levier et rayon du houppier

- des arbres de l'étude TSF/FR
- des courbes iso-risque (sols moyennement profonds)
- des courbes iso-diamètre



STABILITE INDIVIDUELLE

HETRE :

H/D faible est un facteur de risque :

Forte prise au vent des houppiers de gros diamètre

Une sylviculture dynamique conduit à des arbres un peu plus stables (à diamètre objectif fixé) car moins hauts

RESINEUX (épicéa, sapin)

H/D élevé est facteur de risque :

Stabilité mécanique de la tige réduite (volis)

Une sylviculture dynamique conduit à des arbres + stables car + trapus et moins hauts

Impact des éclaircies et stabilité

➤ Impact défavorable tant que le couvert n'est pas refermé

- Rugosité accrue du peuplement, turbulences
- Perte de l'effet de masse

Tendances confirmées :

Piton (2002) - Sapin, Epicéa, Pin sylvestre (Haut-Rhin)

Piton (2002)- Najjar et al (2002) - Pin maritime (Landes)

Piton (2002) - Chêne (Yonne)

➤ Facteurs aggravants : hauteur élevée, éclaircie récente et forte

➤ Forte instabilité des peuplements ouverts (régénération)

MAIS :

➤ Impact moins marqué sur feuillus (hêtre, chêne) que sur résineux

Piton (IFN 68, sapin, épicéa) : un prélevt en volume de 15% a le même impact qu'une élévation de hauteur de 16 m !

Hêtre : effet non significatif (Piton, 2002 ; Bock, 2002)

Chêne : effet significatif mais de faible ampleur (Piton, 2002; Yonne)

➤ Cicatrisation plus rapide des peuplements feuillus ?

➤ Mais quel comportement des feuillus :

- en cas d'éclaircies de forte intensité ?
- en situation de détournage / plein ?

GESTION SYLVICOLE DU RISQUE

3 facteurs de risque majeurs :

STABILITE / STATION :

Des sensibilités aux contraintes du sol très variables d'une espèce à l'autre

- ↳ Intégrer le facteur stabilité dans le diagnostic sylvicole, en étant « exigeant » sur ce critère pour les espèces sensibles au vent
- ↳ Identifier les contextes stationnels à risque élevé (station, enjeu)
- ↳ Adapter le choix des essences (si possible...)

STABILITE / HAUTEUR : une sylviculture dynamique avec itinéraire d'éclaircies précoces et soutenues jusqu'au terme du peuplement permet :

↳ **Vulnérabilité des peuplements réduite** :

- Stabilité individuelle des tiges légèrement améliorée
- Objectifs de diamètre d'exploitabilité atteints dans des délais plus courts, et donc pour des hauteurs plus faibles

↳ **Durée d'exposition au risque réduite**

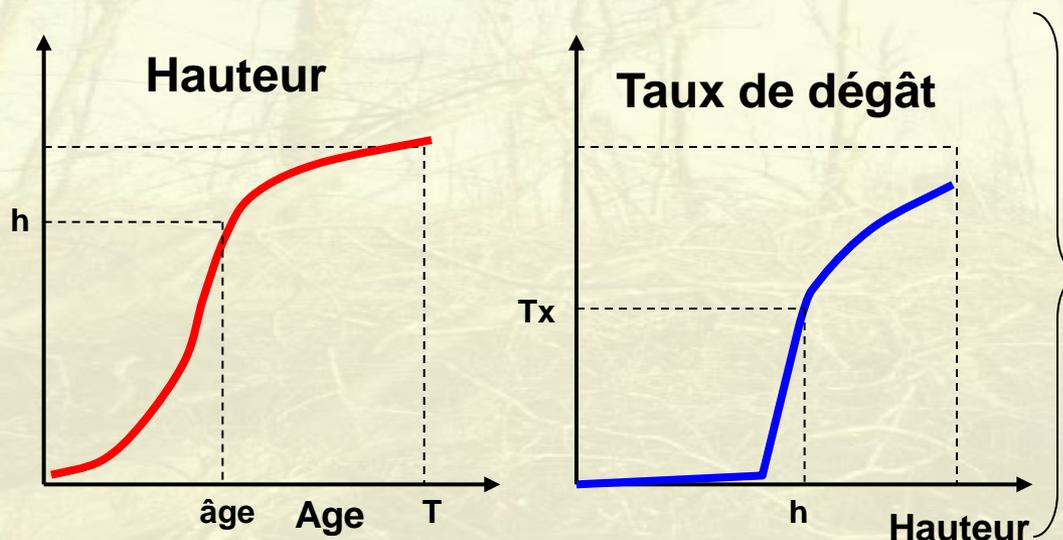
PHASE DE REGENERATION

↳ Risque important associé à l'**allongement des régénération** : apprécier gain attendu/risque

Illustration de la vulnérabilité au vent des hêtraies du nord-est : Estimation du taux de dégâts moyen à l'échelle de la révolution

Hypothèses :

- courbes H/âge pour des peuplements du NE France nés vers 1900 (d'après Bontemps et al, 2005)
- modèle de risque d'après Bock et al (2002)
- Révolution fixée
- répartition équilibrée des classes d'âge



Taux de dégât moyen N
si une tempête survient :

$$N = \frac{1}{T} \sum_{\text{âge}=1}^T \text{Taux de dégât (hauteur (âge))}$$

Illustration de la vulnérabilité au vent des hêtraies du nord-est : Taux de dégâts dans les stations à risque

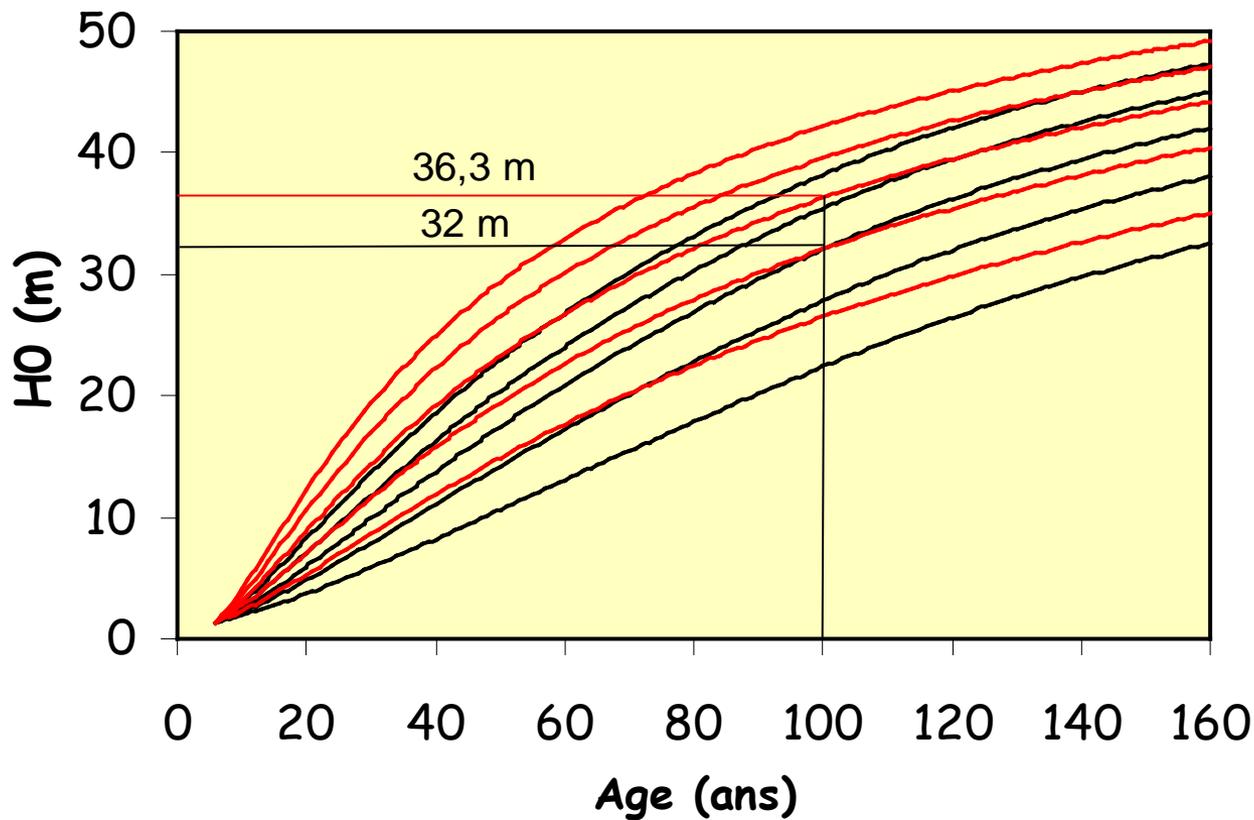
Hypothèses :

- courbes H/âge à partir de peuplements nés vers 1900
- sylviculture « traditionnelle » en 120 ans
- répartition spatiale équilibrée des classes d'âge

	Sol superficiel		Sol profond	
	Fertilité moyenne	Fertilité bonne	Fertilité bonne	Fertilité très bonne
Vent moyen	24 %	30 %	10 %	12 %
Vent fort	35 %	42 %	20 %	25 %

Hauteur dominante des hêtraies du Nord-Est : D'importants changements de productivité !

D'après Bontemps et al, 2005



Peuplements nés
en 1900

Peuplements nés
en 2000

Seuil de 23.5 m :
69 ans → 51 ans !

Incidence des changements de productivité sur la vulnérabilité au vent des hêtraies du nord-est

Hypothèses :

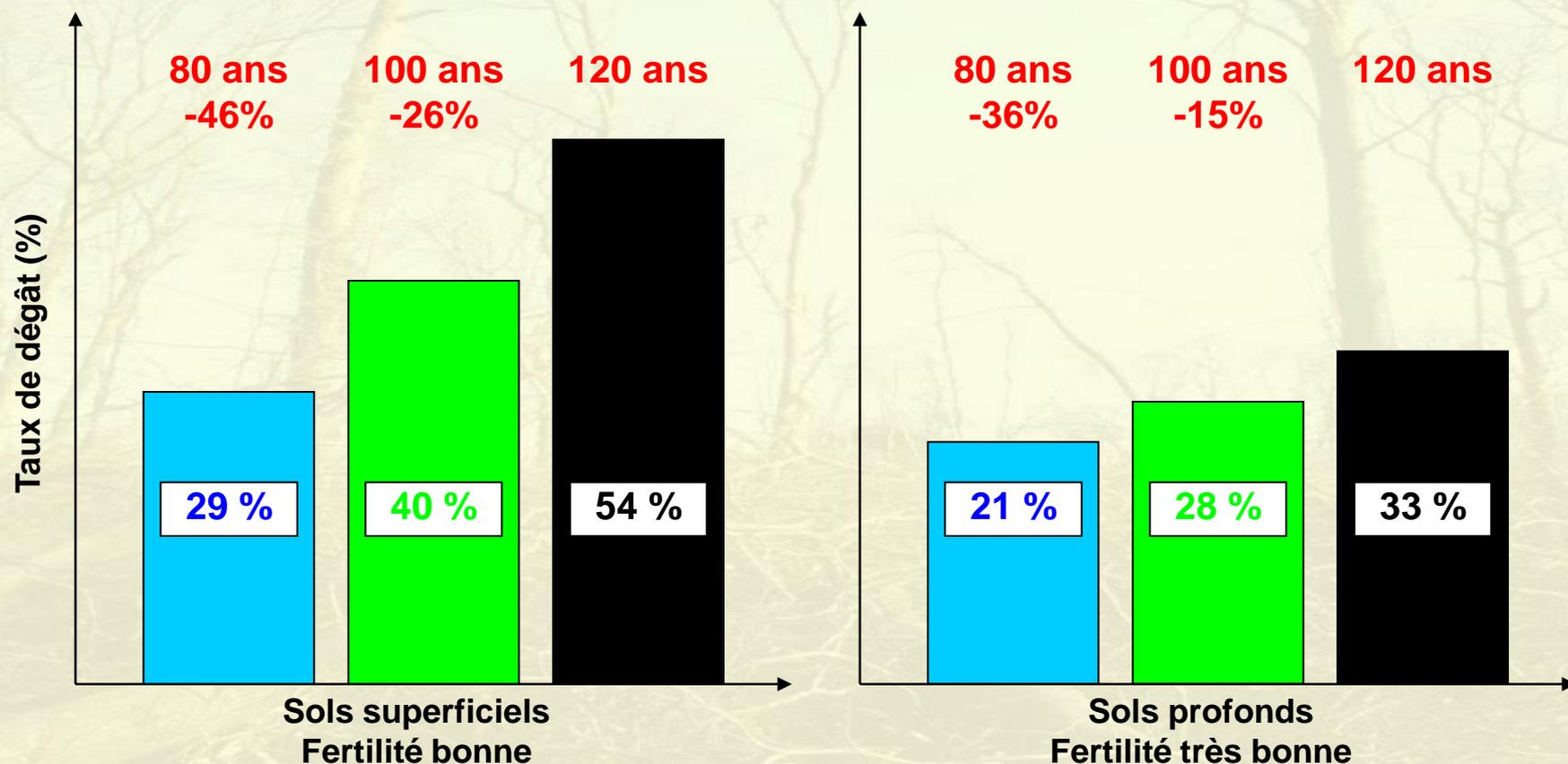
- peuplement né en 1900 ou en 2000
- Productivité stabilisée au niveau 2000
- révolution constante (120 ans)
- répartition spatiale équilibrée des classes d'âge
- vent fort (140-160 km/h)

Taux de dégâts estimé

	Sol superficiel		Sol profond	
	Fertilité moyenne	Fertilité bonne	Fertilité bonne	Fertilité très bonne
né en 1900	35 %	42 %	20 %	25 %
né en 2000	47 %	54 %	29 %	33 %

Incidence de la révolution sur la vulnérabilité au vent des hêtraies du nord-est

- peuplement né en 2000, productivité stable (niveau 2000)
- sylviculture en 80 / 100 / 120 ans
- répartition spatiale équilibrée des classes d'âge
- vent fort (140-160 km/h)



Perspectives

- **Prudence sur les résultats acquis :**
Événement exceptionnel, sol détrempe
- **Amélioration des modèles :**
 - fiabilité de l'information Vent
 - meilleure compréhension de la variabilité spatiale du phénomène : relief, topographie, aspects stationnels...
 - interaction vent/structure du peuplement
- **Affiner la prise en compte du risque chablis dans la sylviculture :**
 - Besoin de modèle (élagage / dimension du houppier)
 - Occurrence des tempêtes
- **Gestion des lisières, du sous-étage, mélange, traitement irrégulier...**

MERCI DE VOTRE
ATTENTION...