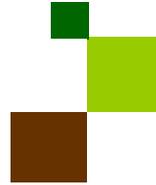


Projet ECO-RISQUES



Optimisation de la gestion forestière en présence de risques : cas de la hêtraie

Hanitra Rakotoarison, ONF département RDI

Mathieu Fortin, AgroParisTech/INRA, LERFOB (Laboratoire des ressources forêt-bois)

Gilles Le Moguédec, INRA, AMAP (botanique et bioinformatique de l'Architecture des Plantes)

Patrice Loisel, INRA, MISTEA (Mathématiques, Informatique et Statistique pour l'Environnement et l'Agronomie)





Plan de presentation

I. Introduction

- I. Contexte
- II. Approche

II. Analyse des variations des prix du bois

- I. à l'échelle nationale
- II. à l'échelle des coupes

III. Optimisation en présence de risques

- I. Les tempêtes
- II. Les variations des prix

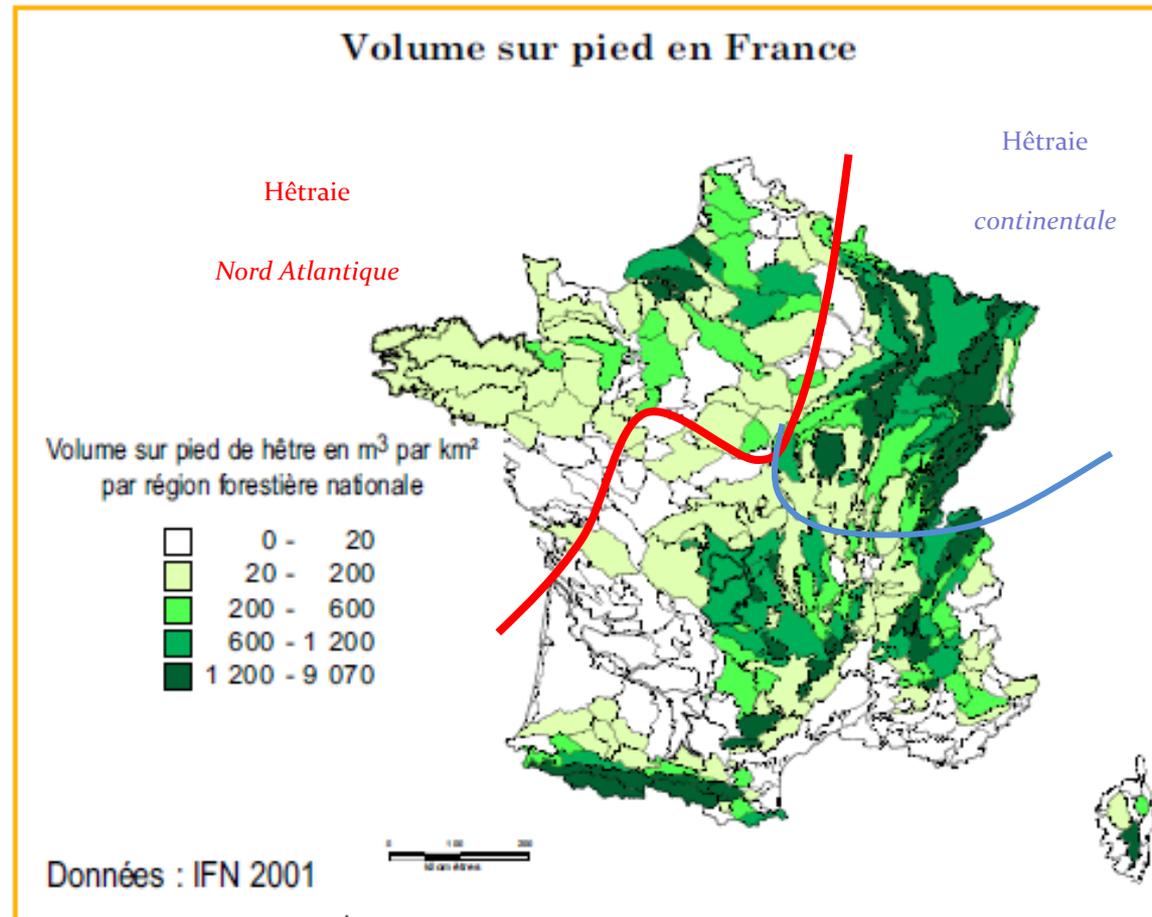
IV. Outils

I- Contexte du hêtre en France

Une ressource large en forêt :

Surface : 1.41 Mha en 2012, 9 % de surface forestière (IGN).

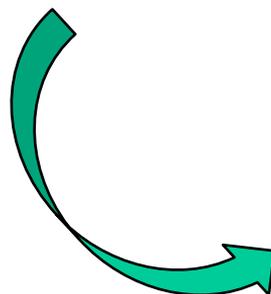
Dont 58 % en forêt publique.





La Hêtraie Nord-Atlantique

F. Pinet-landean
F. Simons



Guide de sylviculture

X.19. simulation IT2 régénération naturelle

Peuplement						Eclaircie			Production	
Age (ans)	Ho (m)	N/ha	G/ha (m ²)	V/ha (m ³)	Do (cm)	N/ha	G/ha (m ²)	V/ha (m ³)	G/ha (m ²)	V/ha (m ³)
15	5.2	66987	11.5	0	6					
15	5.2	5010	3.6	0	6	61977	7.92	0	11.5	0
24	10.1	5010	15.0	42	13					
33	15.2	5010	26.7	156	20					
33	15.2	3108	26.3	156	20	1902	0.32	0	34.6	156
33	15.2	1203	17.7	124	20	1905	8.58	31.6	34.6	156
39	18.3	1203	25.0	216	24					
39	18.3	550	16.1	147	24	653	8.87	68.86	41.8	247
45	21.1	550	22.8	241	28					
45	21.1	350	17.0	183	28	200	5.83	58.37	48.5	341
51	23.6	350	23.0	278	33					
51	23.6	232	16.9	207	33	118	6.06	71.04	54.5	437
57	25.8	232	22.2	299	38					
57	25.8	156	16.3	221	38	76	5.92	77.57	59.8	529
63	27.7	156	20.9	307	43					
63	27.7	115	16.2	239	43	41	4.68	67.47	64.4	614
72	30.1	115	22.0	358	50					
72	30.1	90	17.8	291	50	25	4.19	67.19	70.2	733
81	32.0	90	22.6	401	57					
81	32.0	70	18.1	322	57	20	4.5	78.26	75.0	843
90	33.6	70	22.2	421	64					
96	34.5	70	24.6	484	67					
99	34.9	70	25.8	516	69				82.7	1036
Total									0.84 m ² /ha/an	10.5 m ³ /ha/an



■ Insuffisamment exploitée :

■ Baisse des récoltes BO

- BO : 2,4 Mm³ (1970) -> 1,2 Mm³ (Agreste)

■ Accroissement annuel > Récolte annuelle

- Accroissement : 7.1 Mm³ (IGN entre 2007 et 2011)
- Récolte 4.3 Mm³ : BO : 1.21 Mm³ + BIBE : ~3.09 Mm³ (Agreste, 2001- 2011)

■ Baisse de prix :

- 1971 : 80 – 110 euros/m³ (ONF, Chavet)
- Actuellement : autour de 30 euros/m³ (ONF, Chavet)



Approche

■ C'est quoi « optimiser » ?

- Trouver une solution la plus rentable et stable.
- Trouver une solution qui permet de satisfaire l'ensemble des contraintes de production.

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

■ Les aléas :

- aucune probabilité d'occurrence ne peut être définie -> Incertitudes.
- une probabilité d'occurrence peut être définie -> Risques.

$$f(x) = ??$$

■ Économie & gestion forestière :

- ✓ Construire une fonction de bénéfice à long terme : ~ Investissement.
- ✓ Contraintes : Taux d'éclaircie max, nombre d'année min entre les éclaircies, nombre final de tiges.

■ 2 aléas explorés

- Lever les incertitudes sur les mécanismes de variation de prix.
- Définir une probabilité d'occurrences des tempêtes, prévoir les impacts physiques et économiques.



L'algorithme de Nelder & Mead

J.A. Nelder and R. Mead, 1965. *Computer Journal*, vol 7, pp 308-313

Si p paramètres à estimer, on génère $(p+1)$ points initiaux

Réflexion du pire de ces points par rapport au centre de gravité des autres

Selon la performance associée à ce point, on le conservera pour l'itération suivante, ou on procédera à une extension ou une réduction.

Extension Réduction

Les versions plus récentes de cet algorithme comprennent une étape supplémentaire: la contraction.

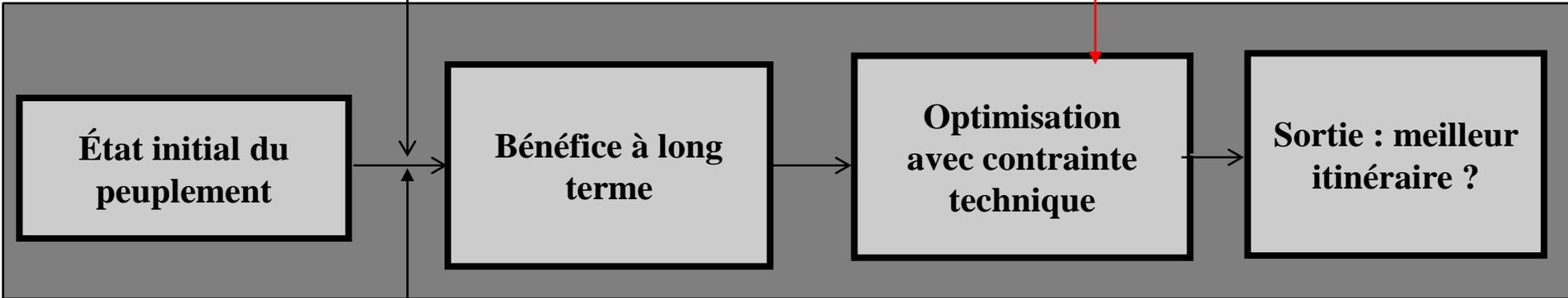
Quel que soit la version, progression séquentielle

Approche systémique de la parcelle

Paramètres de la sylviculture

- Station - fertilité
- Modèle de croissance
- Gestion forestière
- Risques /Dommage

Simulation : 400 fois



Paramètres économiques

- Prix
- Coût des travaux
- Coût de réparation des dommages
- Taux d'actualisation



Plan de presentation

- I.** Introduction
 - I. Contexte
 - II. Approche

- II.** Analyse des variations des prix du bois
 - I. à l'échelle nationale
 - II. à l'échelle des coupes

- III.** Optimisation en présence de risques
 - I. Les tempêtes
 - II. Les variations des prix

- IV.** Outils



Facteurs pouvant avoir des effets sur le prix

Abréviation des variables	Description	Unité	Date des données	Sources
Prix ONF	Prix du bois sur pied du hêtre (toutes catégories) provenant des ventes d'automne de l'ONF publié dans RFF	euros/m ³	1966-2011	ONF
Année	Année de vente	Année	1947-2011	-
Volume de BO	Volume de récolte de Bois d'oeuvre en hêtre en France	10 ³ m ³ de bois	1947-2011	Agreste (2014, 2010)
Volume de sciage	Volume de sciage du hêtre en France	10 ³ m ³ de bois	1947-2011	Agreste (2014, 2010)
Surface de forêts	Surface des forêts productives en France	10 ⁶ ha	1973-2011	IGN
PIB	Produit intérieur brut	10 ⁶ euros	1982-2011	INSEE
Salaire annuel	Salaire annuel moyen des salariés dans les industries en France	Euro/an	1966-2011	INSEE
Taux de crédit*	Taux annuel moyen des crédits accordés aux entreprises hors découvert	%	2000-2011	Banque de France



Résultats

Adjusted R-squared: 0.7068

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
Constante	- 0.09	0.98	- 0.09	0.93
log(prix t-1)	0.41	0.13	3.03	0.00
log(Vol récolte de BO)	- 0.60	0.27	- 2.24	0.03
log(Vol sciage)	1.09	0.26	4.23	0.00

- **Ce modèle (peu de problèmes économétriques) montre que :**
 - Le prix du hêtre en France est corrélé **positivement** à la dynamique du marché des sciages et négativement à l'offre.
 - Il y a un lien **temporel** important sur les prix du hêtre : prix année t lié à celui de t-1.
 - Pas d'effet significatif trouvé des coûts de facteur de production (salaire, capital...) et PIB.

- **Limites de l'approche**
 - Disponibilité des données.
 - Prédiction à court terme.
 - Pas de recommandation pour la sylviculture.



Plan de presentation

- I.** Introduction
 - I. Contexte
 - II. Approche

- II.** Analyse des variations des prix du bois
 - I. à l'échelle nationale
 - II. à l'échelle des coupes

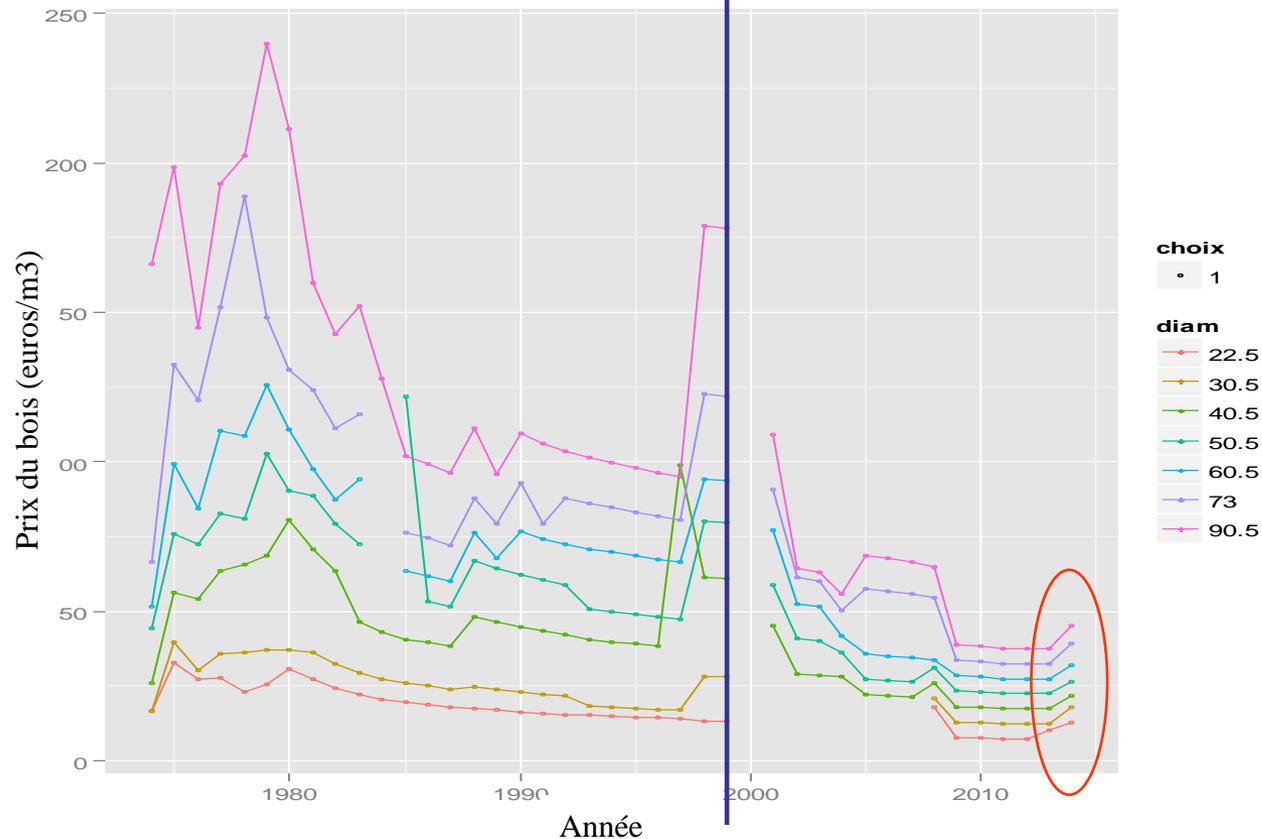
- III.** Optimisation en présence de risques
 - I. Les tempêtes
 - II. Les variations des prix

- IV.** Outils

Données des forêts privées

- o Source de données : Cabinet Chavet, expert des ventes de bois en forêt privée
- o Type de données : bois rond sur pied, 2 qualités d'utilisation (choix 1 et 2)
- o 7 classes de diamètre
- o t : 1974-2014.

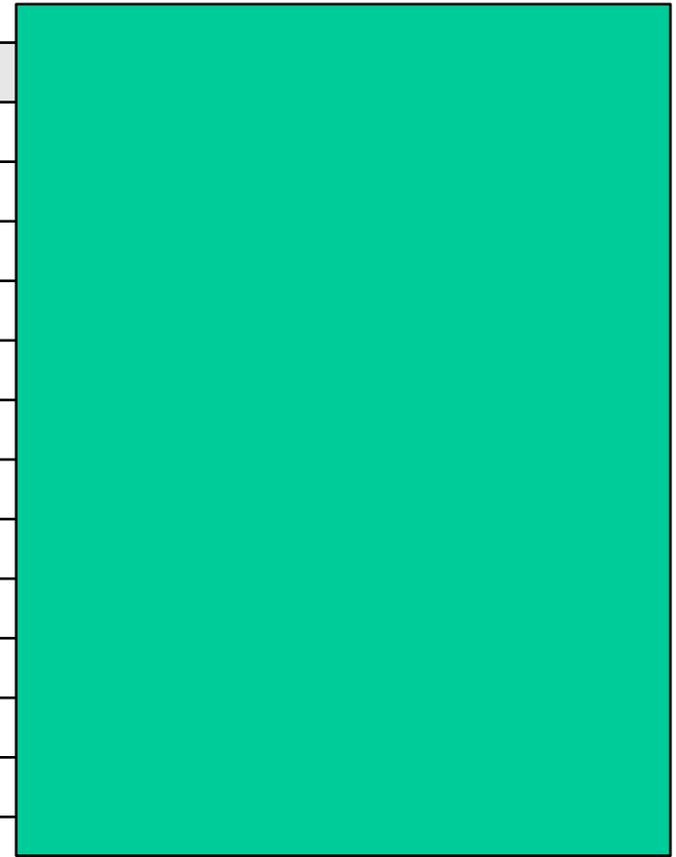
Création d'une variable « période » : changement structurel.





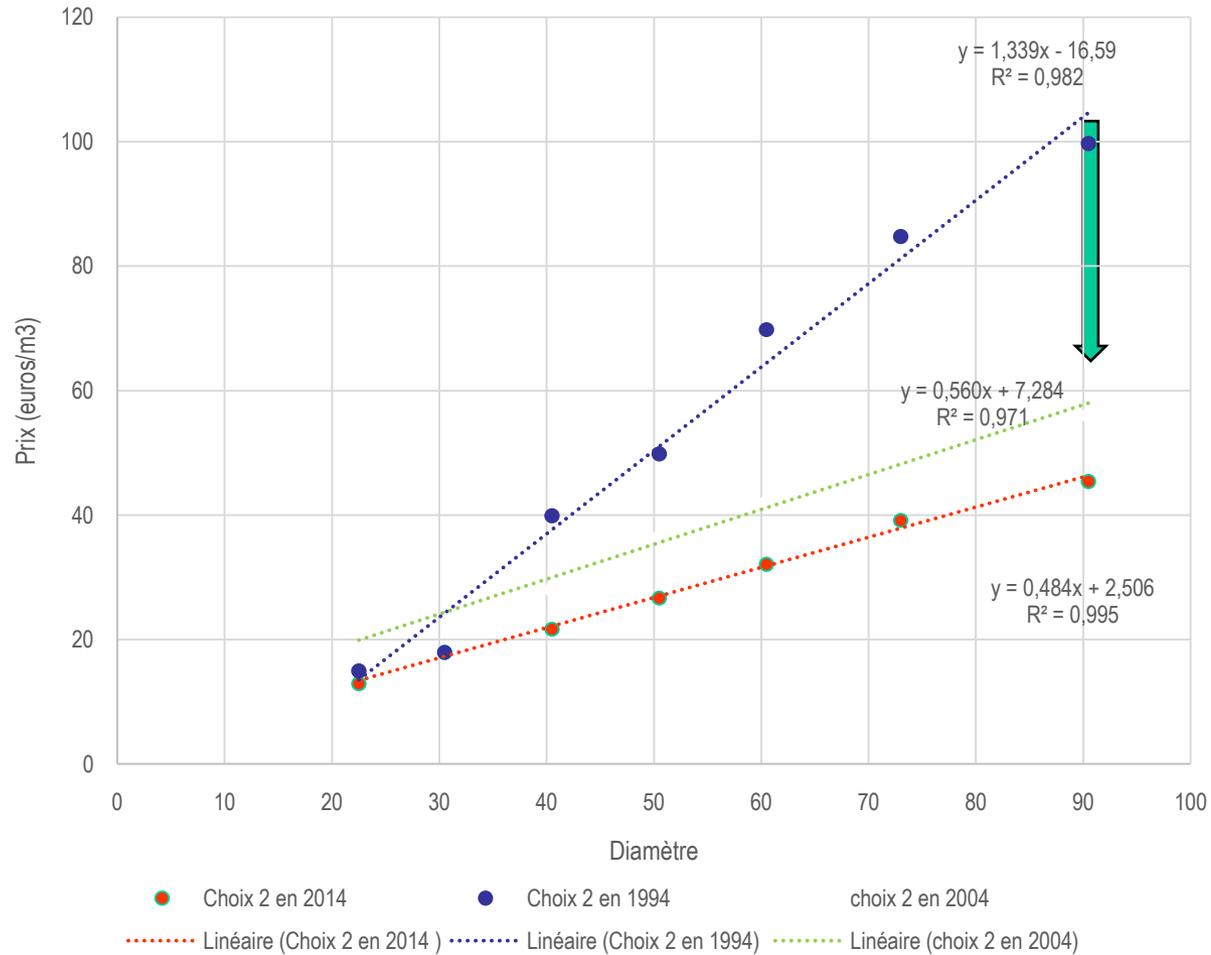
Résultats

Variable	Coefficients du modèle avec interaction	
	Estimate	Std. Error
Constante	1 960,68	247,41
Qualité	- 24,10	1,58
Temps	- 0,99	0,12
Diamètre	1,68	0,04
Période	- 15,44	3,15
Interaction entre Qualité et diamètre	-	
Interaction entre Qualité et période	-	
Interaction entre Temps et période	-	
Interaction entre Temps et diamètre	-	
Interaction entre diam et période	-	
Pseudo R² ajusté	0.84	





Résultats des simulations





Plan de presentation

I. Introduction

- I. Contexte
- II. Approche

II. Analyse des variations des prix du bois

- I. à l'échelle nationale
- II. à l'échelle des coupes

III. Optimisation en présence de risques

- I. Les tempêtes
- II. Les variations des prix

IV. Outils



■ Valeur de Faustmann sans risque :

■ Bénéfices à rotation infinie, modèle continu

$$W_0 = \sum_{i=1}^{\infty} \underbrace{(W(0, T) - c_1)}_{\text{Recettes}} e^{-i\delta T} \quad \xrightarrow{\text{Terme lié à l'actualisation}} \quad \xrightarrow{\text{Durée de révolution}}$$

$$W(0, T) = \sum_{k=1}^N R_k \cdot h_k e^{\delta(T-u_k)} + V(T)$$

↓
↓

Recette du kième éclaircie
Recette de la coupe finale

Nouveaux critères économiques en présence de risques



■ Valeur de Faustmann avec risque tempête :

■ Bénéfice sur une rotation infinie, modèle continu

Age d'une tempête qui suit une loi de Poisson.



La tempête arrive à la date de coupe finale

La tempête arrive avant la date de coupe finale

$y_i =$ {

Taux de dommage

Baisse des prix

Coût de nettoyage

■ Bénéfice à rotation infinie :

$$W_1 = E \left(\sum_{i=1}^{\infty} e^{-\delta(\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_i)} y_i \right)$$



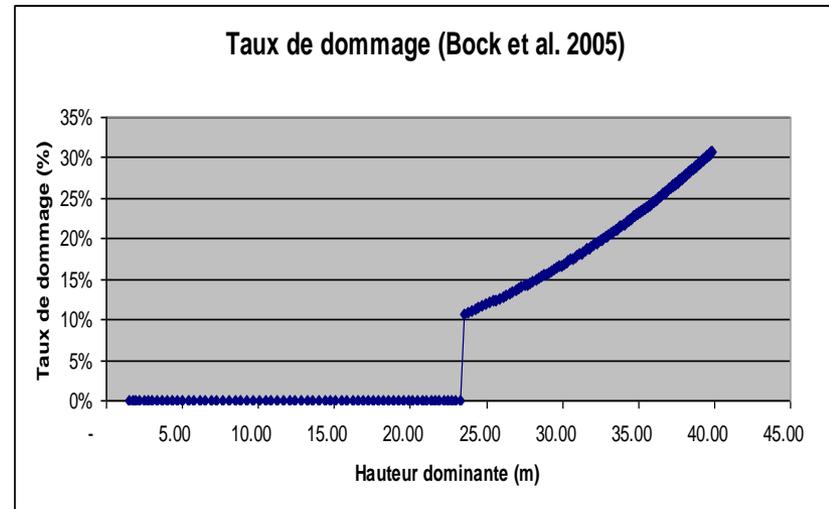
Modèles de dommage des tempêtes

■ Fonction de dommage liée au vent :

- Données sur la tempête de 1999.

$$\begin{aligned} \text{Ln} [Y/(1-Y)] = & \alpha + \beta_2 * \text{Vent}_{130} + \beta_3 * \text{Vent}_{150} + \beta_4 * \text{Seuil}_{23,5 \text{ m}} + \beta_5 * \text{Ho} \\ & + \beta_7 * \text{Sol}_1 + \beta_8 * \text{Sol}_2 + \beta_9 * \text{Topo} \end{aligned}$$

- Pour $H_o < 23 \text{ m}$: $Y = 0$
- Pour $H_o \geq 23 \text{ m}$:





Exemple de simulation avec l'outil Evasylv (P Loisel)

Contexte de prix	Risque tempête	Durée de production (ans)	Valeur de Faustmann W0 ou W1 (euros/ha)	Ecart (%)
1974-1999	Sans	109	3 449,40	
	Avec	102	2 327,46	-33%
2000-2013	Sans	116	1 085,38	-69%
	Avec	108	90,13	-97%
2014	Sans	108	- 1 894,19	-155%
	Avec	100	- 2 297,90	-167%

Hêtraie Nord Atlantique, F2 (H100 = 35 m), RN sans problème de gibier ou végétation concurrente, terrain plat, modèle de croissance *Fagacées*, tarif de cubage Emerge.

Coût total (avec martelage) : 4434 e/ha, prix M. Chavet (2^{ème} choix).

$r = 2\%$, $\lambda = 1\%$, seuil limite $H = 23$ m,



Plan de presentation

I. Introduction

- I. Contexte
- II. Approche

II. Analyse des variations des prix du bois

- I. à l'échelle nationale
- II. à l'échelle des coupes

III. Optimisation en présence de risques

- I. Les tempêtes
- II. Les variations des prix

IV. Outils



Deux outils développés

	Evasylv	Boite à outil d'optimisation
<i>Language</i>	Python	Java
<i>Développeurs</i>	Loisel (INRA - Misteau)	Le Moguedec - Fortin (INRA - Lerfob et Amap)
<i>Public cible</i>	Chercheurs	Chercheurs, gestionnaires
<i>Partage</i>	-	Capsis
<i>Temps de calcul</i>	Quelques minutes	Quelques heures
<i>Essences</i>	Toutes	Toutes
<i>Sylviculture</i>	futaie régulière	futaie régulière
<i>Echelle d'analyse</i>	Peuplement	Arbre
<i>Paramètres modifiables par l'utilisateur</i>	Économie Croissance	Économie
<i>Risques étudiés</i>	Catastrophiques	Biologiques (mortalité,...)
<i>Critères économiques</i>	W0, W1 Taux d'éclaircie, durée de rotation minimale	V, volume annuel, W0, TIR, multiple
<i>Contraintes</i>		V, volume annuel, W0, TIR,



Conclusions

■ Résultats pratiques du projet

- **Effet important de la demande de sciages qui explique les fluctuations des prix du bois.**
 - ✓ Trouver comment maintenir le tissu industriel sur la transformation du hêtre.
 - ✓ Mettre au point des *process* innovants ET rentables pour tous les secteurs.
- **Gestion forestière innovante**
 - ✓ Produire du hêtre de qualité.
 - ✓ Nécessité de réduire la durée de production pour réduire les risques tempêtes.
 - ✓ Innover dans les outils : travaux, exploitation, simulation.
 - ✓ Promouvoir les ventes par contrat.

■ Pistes de recherche futures :

- Introduire un modèle de demande de bois dans les simulations de production forestière.
- Autres risques : CC, biotiques (insectes, cervidés), ...
- Passer à l'échelle de l'aménagement (JP Terreaux et M. Chavet).
- Autres valeurs de la forêt + paiement : séquestration/substitution en C, bénéfices hydrologiques, accueil du public, ...



Listes des livrables du projet

1. Jean-Philippe Terreaux et Michel Chavet. La **propriété forestière privée**, les valeurs et la fiscalité forestière, 13 p.
2. Jean-Philippe Terreaux et Michel Chavet. La forêt comme source de **diversification** d'un **patrimoine**. 9p.
3. Jean-Philippe Terreaux et Michel Chavet. Sur la **durée de retour** d'une tempête dévastatrice en forêt d'Aquitaine. 33p
4. Jean-Philippe Terreaux et Michel Chavet. Le **changement climatique** entrainera-t-il une augmentation du risque de vents tempétueux dommageables pour les sylviculteurs de pins maritimes du sud-ouest ? 24p.
5. Jean-Philippe Terreaux et Michel Chavet. **Viabilité** et gestion des risques en forêt, 35p.
6. Hanitra Rakotoarison. Objectifs de la gestion du hêtre en **forêt publique**, 10p.
7. Hanitra Rakotoarison. Analyse économétrique des variations sur le **prix du hêtre** en France. 26 p.
8. Hanitra Rakotoarison, Patrice Loisel. **Optimiser** la sylviculture en présence de risques multiples, étude de cas sur le hêtre, 28 p (en anglais).
9. Gilles Le Moguédec, Hanitra Rakotoarison, Mathieu Fortin. Conception et implémentation d'un **outil d'optimisation**, présentation CAPSIS, 13 p.
10. Gilles Le Moguédec, Mathieu Fortin, Hanitra Rakotoarison,. Conception et implémentation d'un **outil d'optimisation**. Rapport complet, 23 p.

■ Trois outils de simulation :

- Viabilité.
- Evasylv.
- Boîte à outil Capsis.

Évolution des récoltes de BO du hêtre en France

